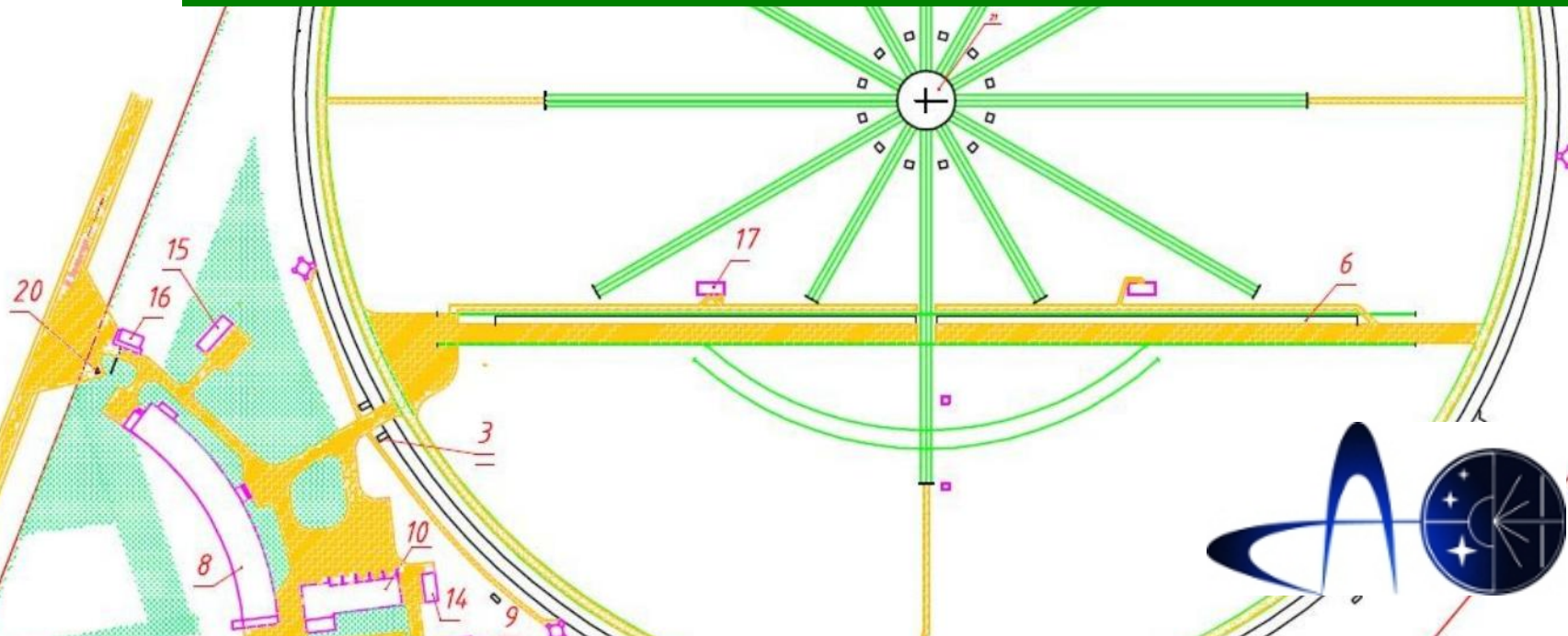


# РАТАН-600 (2018-1 г.)

Отчет по научной и технической работе



Сотникова Ю.В.,  
заместитель директора САО РАН по научной работе

# Наблюдательные программы 2018 г.

## I. Внегалактические:

1. Исследование АЯГ с помощью РАТАН-600 и наземно-космического интерферометра РадиоАстрон (АКЦ ФИАН).
2. Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies (Metsahovi Radio Observatory).
3. Исследование долговременной переменности внегалактических источников из каталога JVAS (ГАИШ МГУ).
4. Исследование радиосвойств блазаров каталога BZCAT (ShAO).
5. Radio observations of a TDE-like transient Fermi J1544-0649 (ShAO).
6. Исследование радиосвойств далеких квазаров (САО РАН).
7. Наблюдения уникального источника нейтрино сверхвысоких энергий B0506+056 (ТОО) (АКЦ ФИАН).

## II. Галактические:

1. Радиопеременность микроквазаров - галактических рентгеновских двойных звезд со струйными выбросами (САО).
2. Радиоизлучение звездных вспышек (САО).
3. Поиск быстрых радиовсплесков\* (САО).

## III. Радиоизлучение Солнца:

1. Structure and evolution of solar active regions (University of Ioannina).
2. Исследование радиоизлучения переходной области между S и B компонентами на Солнце (САО РАН).
3. Исследование сверхслабой солнечной активности на микроволнах (ИСЗФ СО РАН).
4. Мониторинг солнечной активности в 24 цикле (ФГБУ ИПГ).
5. Совместные исследования солнечных флоккул в линии CaIIK и в микроволновом диапазоне на ГАС ГАО и РАТАН-600 (ГАС ГАО РАН).
6. Динамика микроволнового излучения и магнитографических характеристик активных областей на Солнце перед большими вспышками (ГАО РАН).
7. Исследование вклада нетеплового излучения активных областей на Солнце по микроволновым наблюдениям (САО РАН).

## IV. Аппаратурно-методические, измерительные:

1. Испытания антенной системы Ю+П в режиме сопровождения (САО РАН).
2. Синхронные наблюдения ярких внегалактических объектов для самокалибровки секторов антенны (САО РАН, АКЦ ФИАН).

# Наблюдения в 2018-1 г. (одновременно 4 зеркала)

## Континуум (1-22 ГГц, зз. №1 и №2)

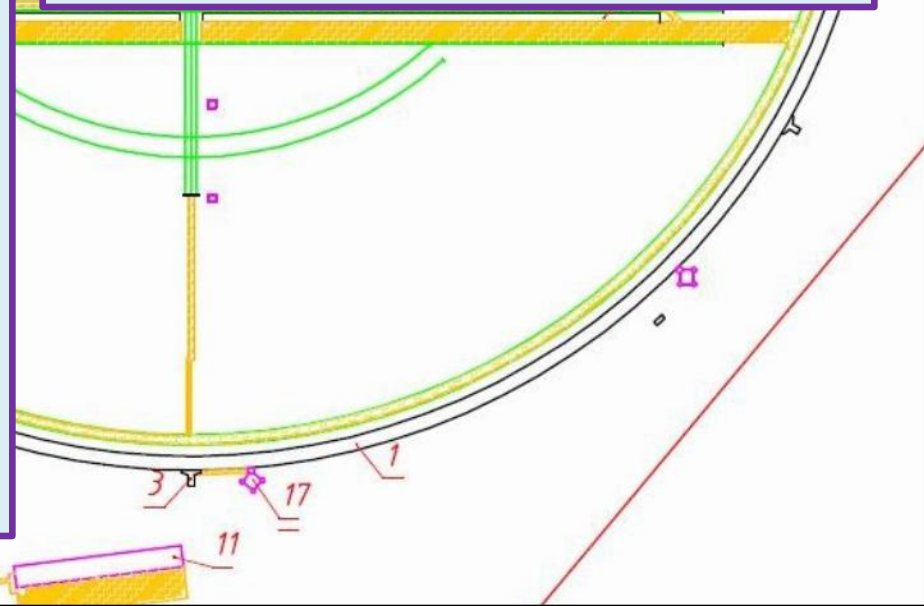
• Запланировано:	25961 набл.
• Потери:	<b>2158 (8,3 %)</b>
➤ Погода	1871 (7.2 %)
➤ Аппаратура	18 (0.07 %)
➤ Антенна	113 (0.4%)
➤ Прочее	156 (0.6%)

## Солнечный комплекс (3-18 ГГц, з. №3)

• Запланировано:	715 набл.
• Потери:	<b>34 (4.6 %)</b>
➤ Погода	4 (0.5 %)
➤ Аппаратура	4 (0.5 %)
➤ Антенна	3 (0.4%)
➤ Прочее	23 (3.2 %)

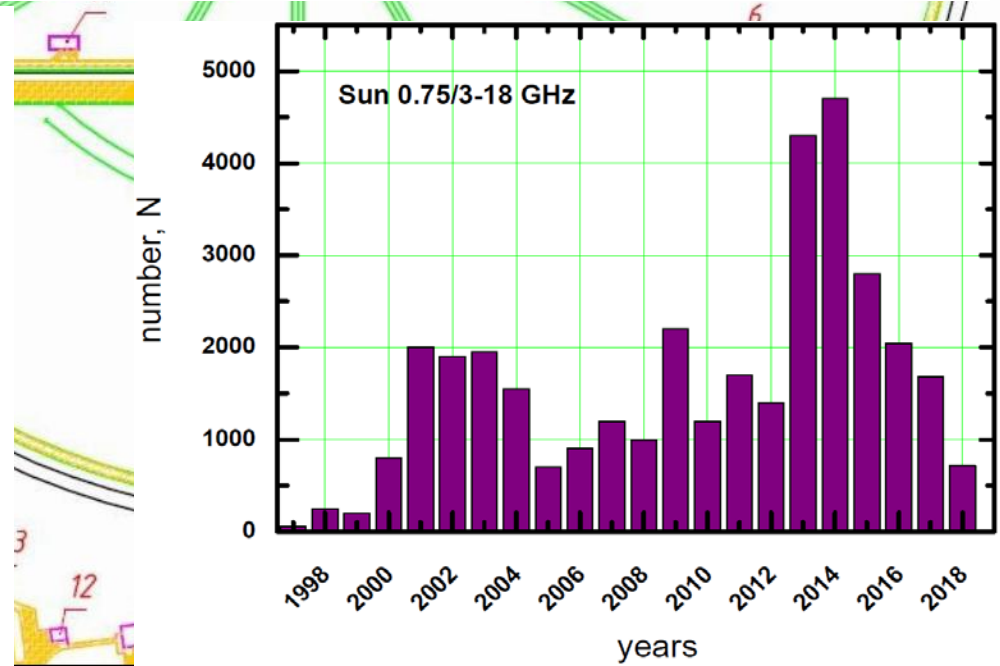
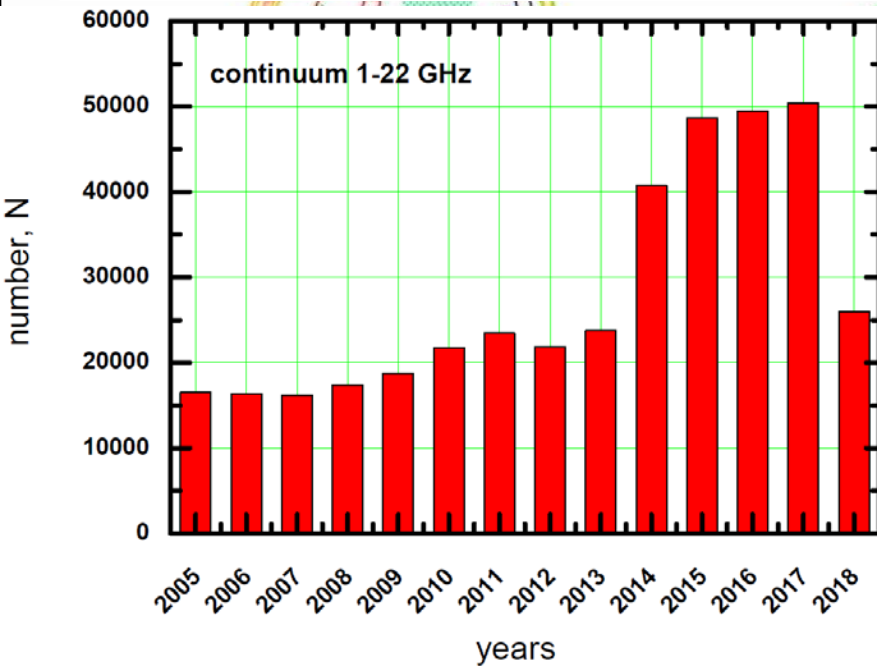
## Многолучевой радиометр с высоким временным разрешением (4.8 ГГц, з. №5)

• Запланировано:	3634 часов
• Потери:	<b>282 (7,7 %)</b>
➤ Погода	129 (3.5 %)
➤ Аппаратура	67 (1.8 %)
➤ Антенна	0 (0%)
➤ Прочее	86 (2.4%)



# Загрузка РАТАН-600

год	Максимально возможное время работы, часы	Фактическое время работы телескопа, часы		загрузка телескопа (k)	в интересах третьих лиц (k)
		всего	сторонние пользователи		
2014	8784	8022	4600	91%	57%
2015	8760	8054	4228	92%	52%
2016	8784	7992	5415	91%	68%
2017	8231	7973	5230	97%	66%



# Методы (2018)

**1 штатный** - Измерение спектральной плотности потока радиоизлучения космических объектов в диапазоне 1.3-21.7 ГГц на приемно-измерительном комплексе вторичного зеркала №1

**2 штатный** - Измерение спектральной плотности потока радиоизлучения космических объектов в диапазоне 2.3-21.7 ГГц на приемно-измерительном комплексе вторичного зеркала №2.

**3 штатный** - Измерение интенсивности и поляризации радиоизлучения дискретных объектов и Солнца в динамическом диапазоне до 60 дБ на частотах 3-18 ГГц на спектрально-поляризационном комплексе вторичного зеркала №3.

**4 штатный\*** - Измерение интенсивности и поляризации радиоизлучения Солнца с частотным разрешением до 1% на частотах 0.75-18 ГГц на спектрально-поляризационном комплексе вторичного зеркала №3.

**5 тестовый** - Измерение спектральной плотности потока радиоисточников на частоте 5 ГГц на многолучевом спектральном комплексе с высоким временным разрешением.

## Параметры широкополосных радиометров вторичного зеркала №1

$f_0$ (GHz)	$\Delta f_0$ (GHz)	$\Delta F$ (mJy/beam)	HPBW <sub>x</sub> sec	AR arcsec
21.7	2.5	70	1.0	11
11.2	1.4	20	1.4	16
8.2	1.0	25	2.0	22
4.8	0.6	8	3.2	36
<b>2.25</b>	<b>0.08</b>	<b>39</b>	<b>7.2</b>	<b>80</b>
<b>1.28</b>	<b>0.06</b>	<b>175</b>	<b>15.4</b>	<b>170</b>

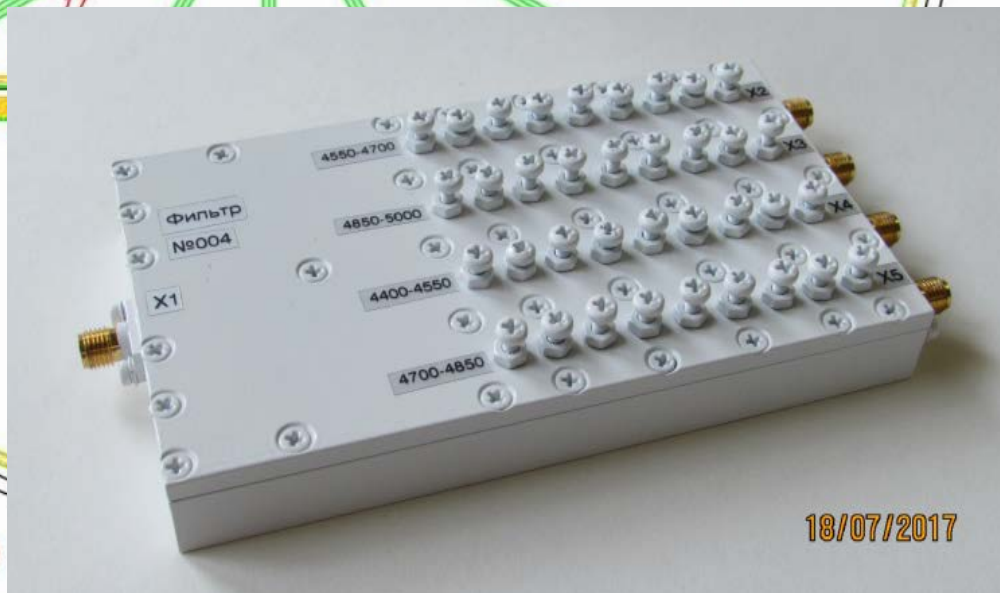
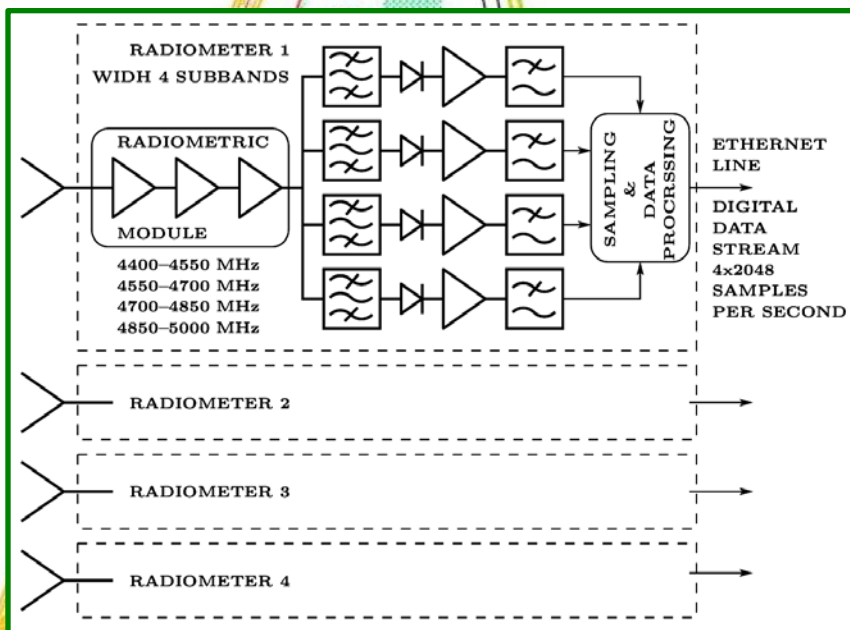
## Параметры широкополосных радиометров вторичного зеркала №2

$f_0$ (GHz)	$\Delta f_0$ (GHz)	$\Delta F$ (mJy/beam)	HPBW <sub>x</sub> сек	AR arcsec
21.7	2.5	88	1.5	16.5
11.2	1.0	20	2.0	25
4.8	0.6	11	4.8	50
2.25*	0.08	80	11	121

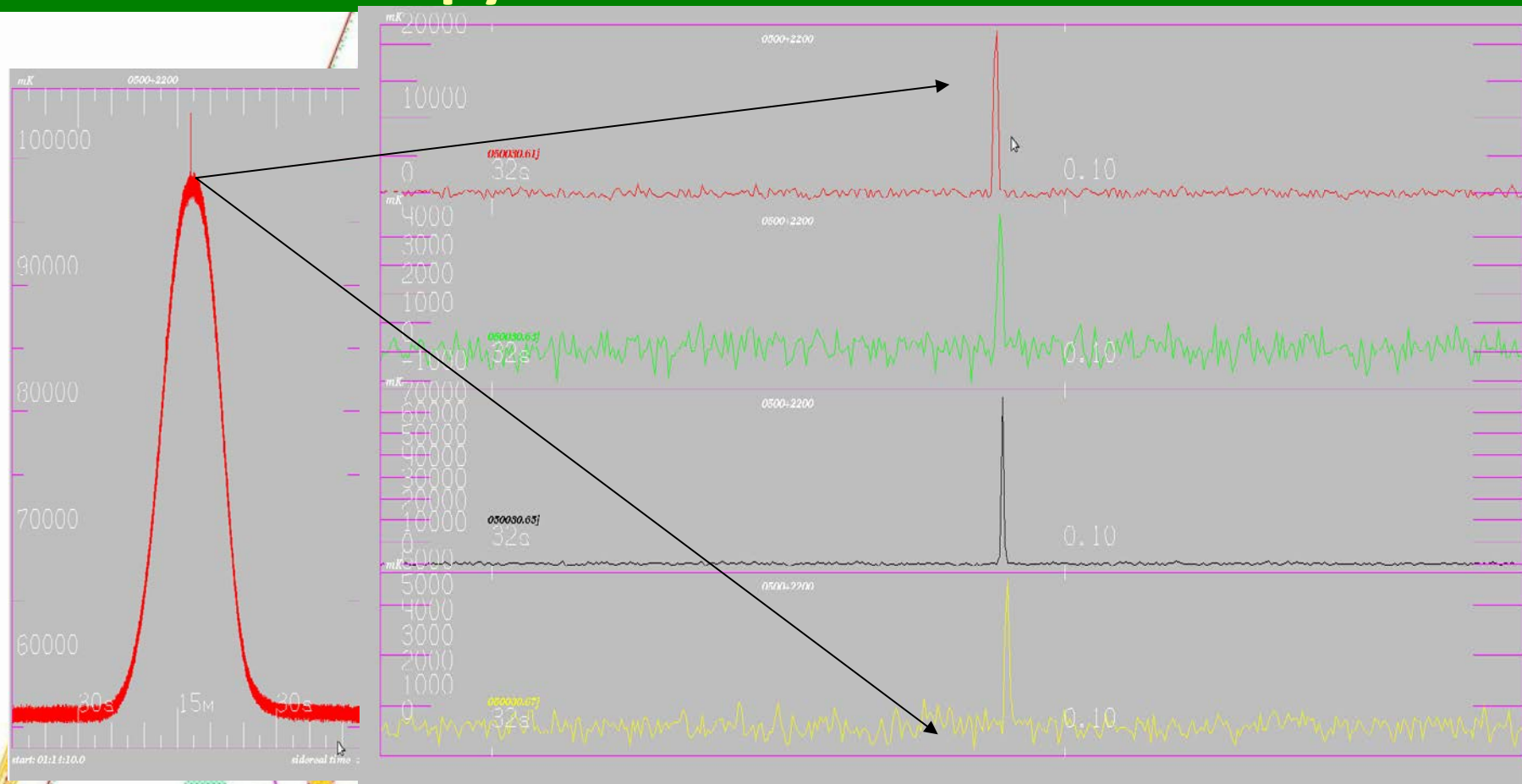
\* - тестовый режим

# Задачи поиска быстрых радиовсплесков (FRB)

Облучатель №5, Западный сектор  
P-600, радиометр бсм.  
С начала сентября 2017 г. ведется  
круглосуточный обзор неба по  
поиску FRB-событий (реализован  
быстрый сбор).

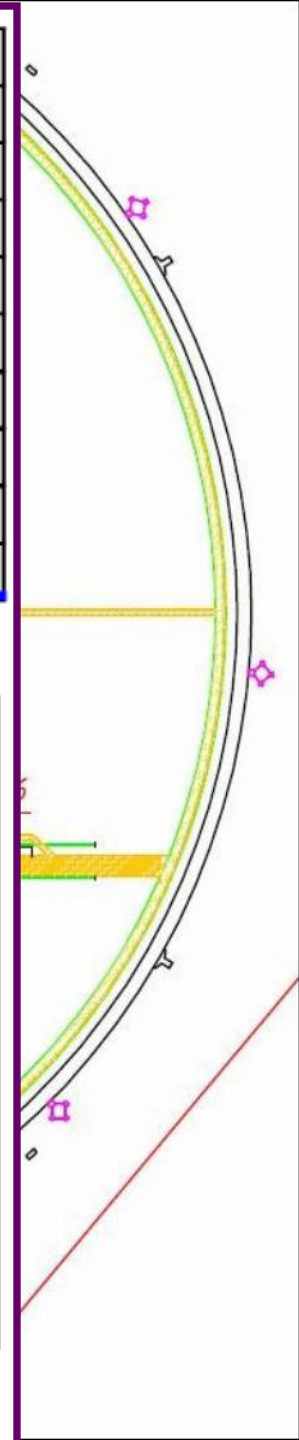
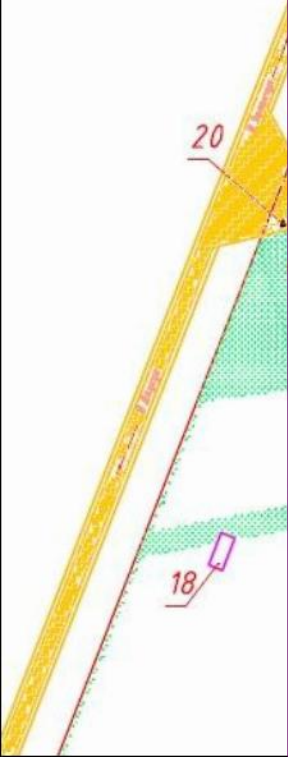
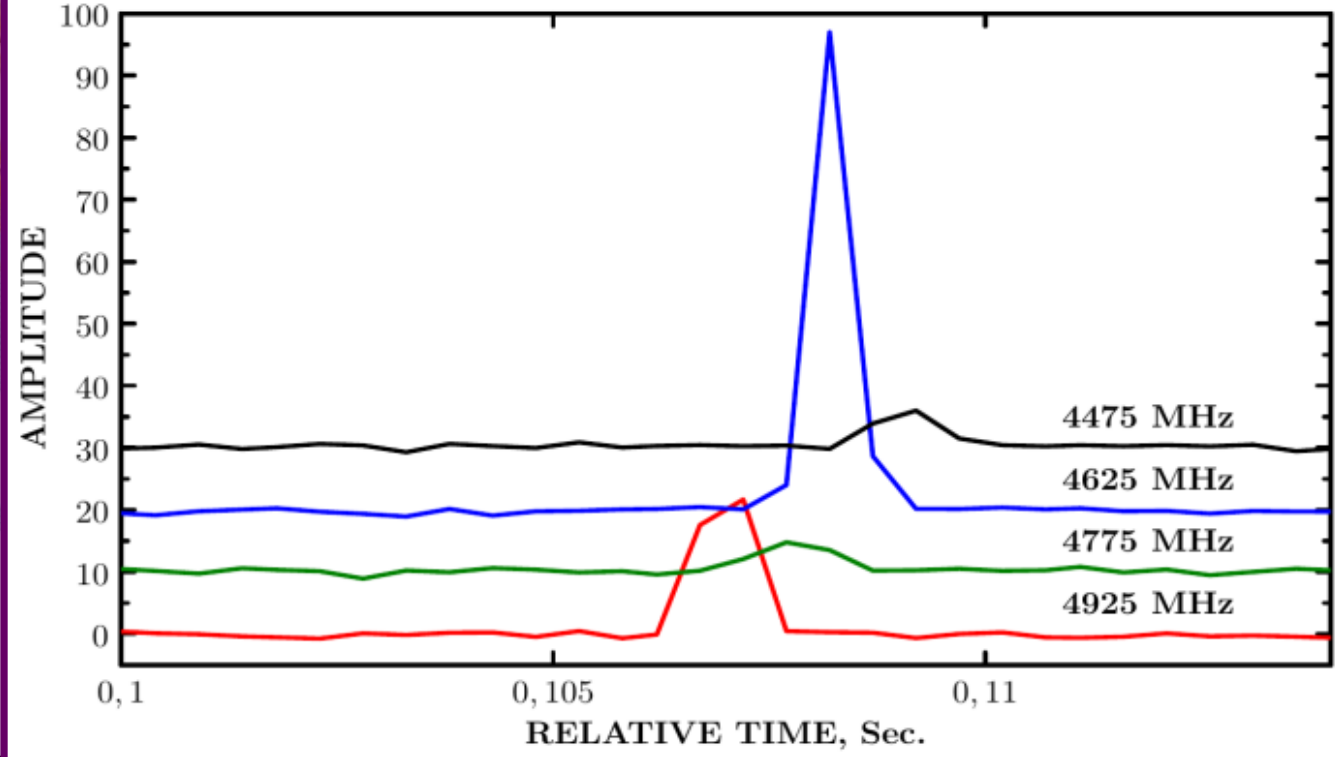
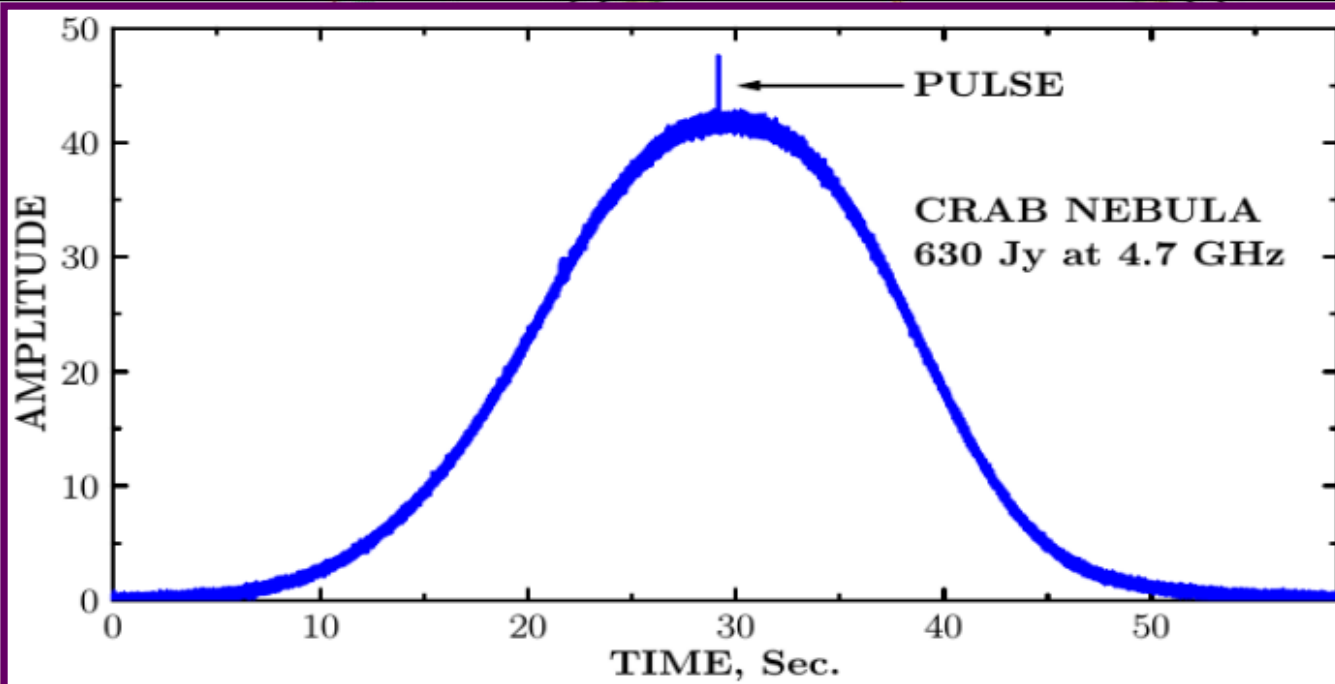


# Гигантский импульс от пульсара в Крабе - первое обнаружение на РАТАН-600



В обзоре FRB на высоте Крабовидной туманности в разные дни обнаружены гигантские импульсы на 4.7 ГГц с потоками от 1 до 20 Ян (оценки). Импульсы запаздывают в соответствии с  $DM=56.8 \text{ пк/см}^3$





# Вспышечные события на Солнце. Прогноз.

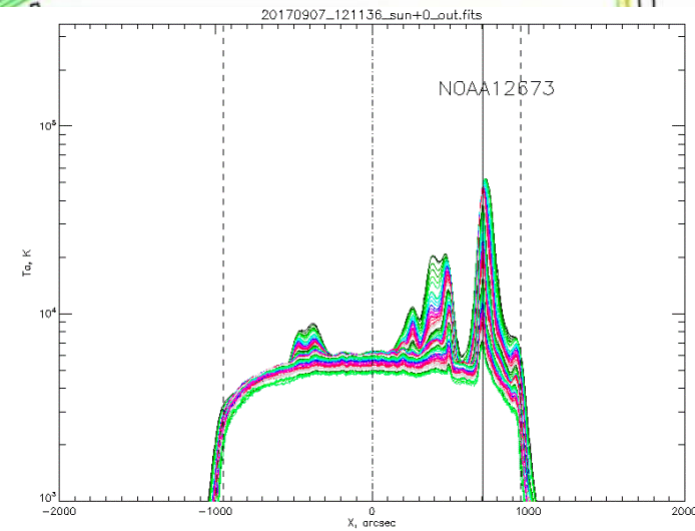
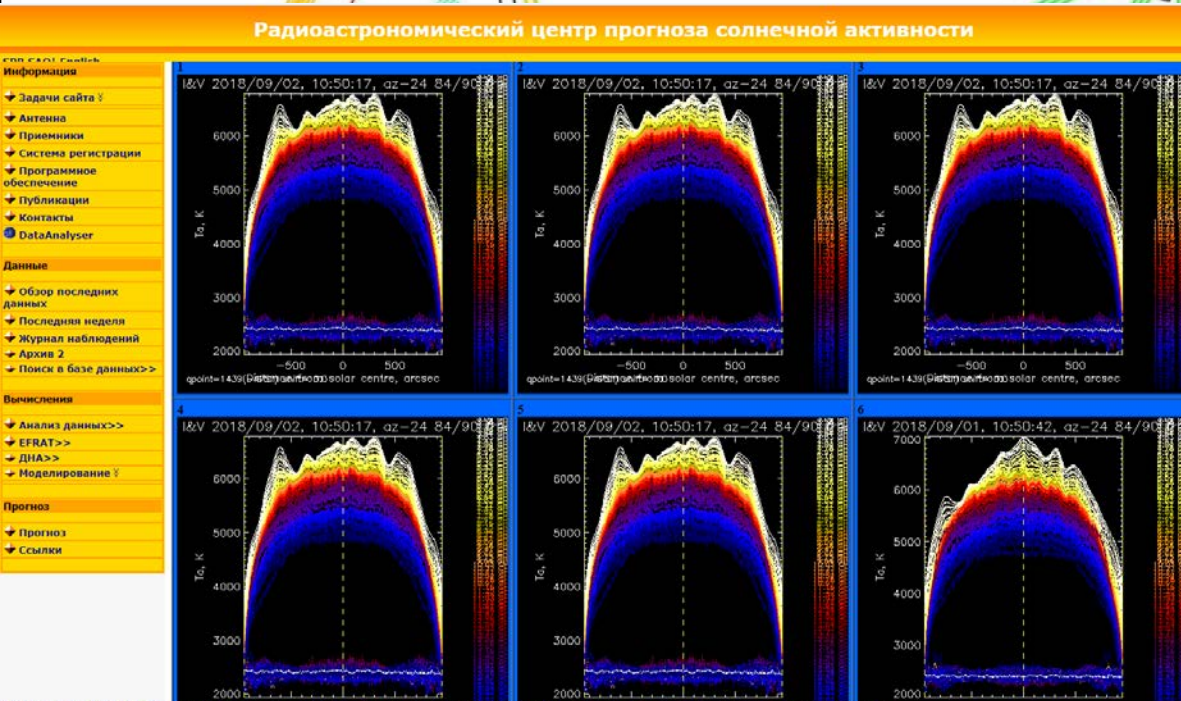
3.0-4.5 GHz	4.5-6.0 GHz	6.0-7.5 GHz	7.5-9.0 GHz	9.0-10.5 GHz	10.5-12.0 GHz	12.0-13.5 GHz	13.5-15.0 GHz	15.0-16.5 GHz	16.5-18.0 GHz
-------------	-------------	-------------	-------------	--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

ССПК:

- (i) 2 уровня частотного разрешения .
- (ii) Скорость регистрации:  $0.0025 \text{ сек}^{-1}$ .
- (iii) Шумовая температура: 300 К.
- (iv) Динамический диапазон:  $> 60 \text{ дБ}$ .

Состав: 10 широких каналов по 1500 МГц, 80 узких каналов по 100 МГц



Детектирование слабых и ярких событий в атмосфере Солнца с высоким пространственным и частотным разрешением.

# Исследование КПП в солнечных микровспышках.

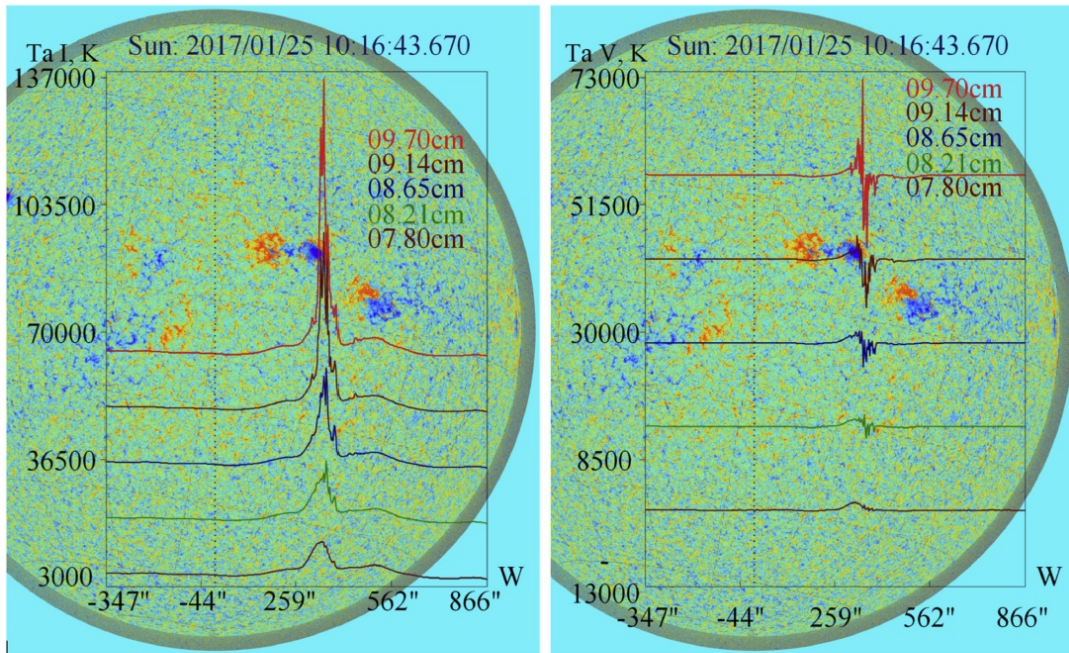


Figure 1. Radio burst recorded by RATAN-600 during the scan at 10:16:43 UT (the passage of the solar center) on 2017 January 25. The intensity (left panel) and polarization (right panel) signals corresponding to different observational wavelengths, are plotted over the photospheric magnetogram. The orange and blue colors indicate the positive and negative magnetic polarities, respectively. The curves showing the longer wavelength signal are shifted upwards for better visualization.

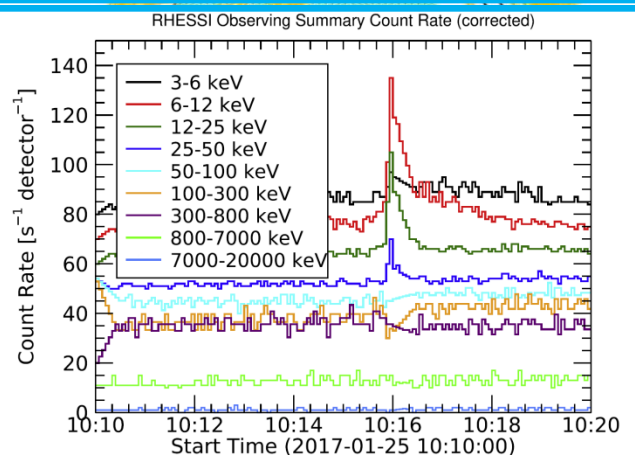
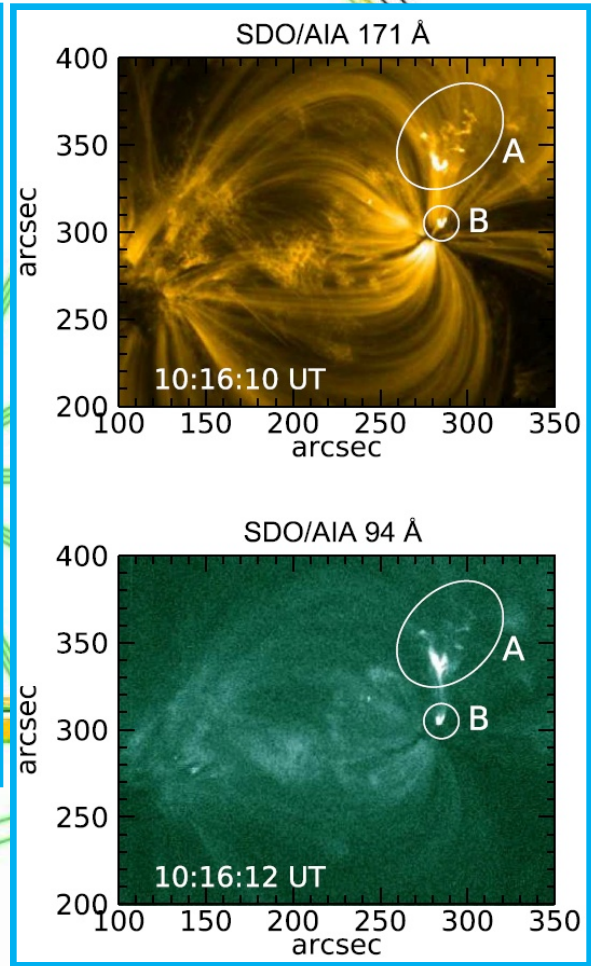
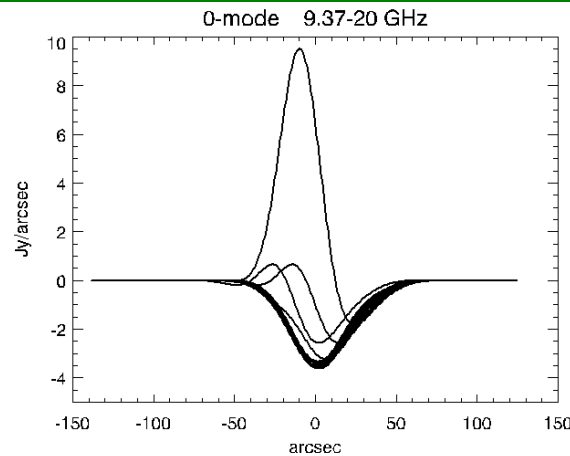
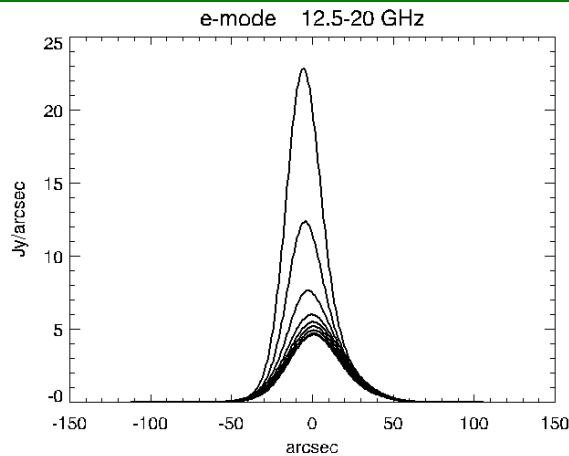
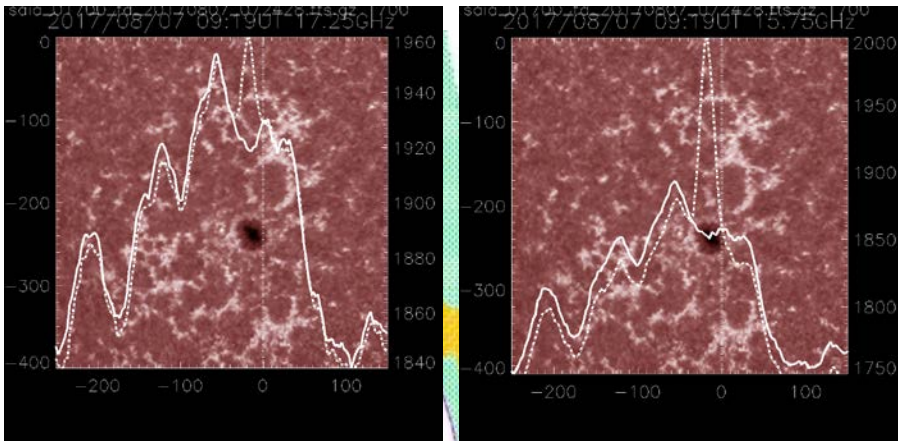
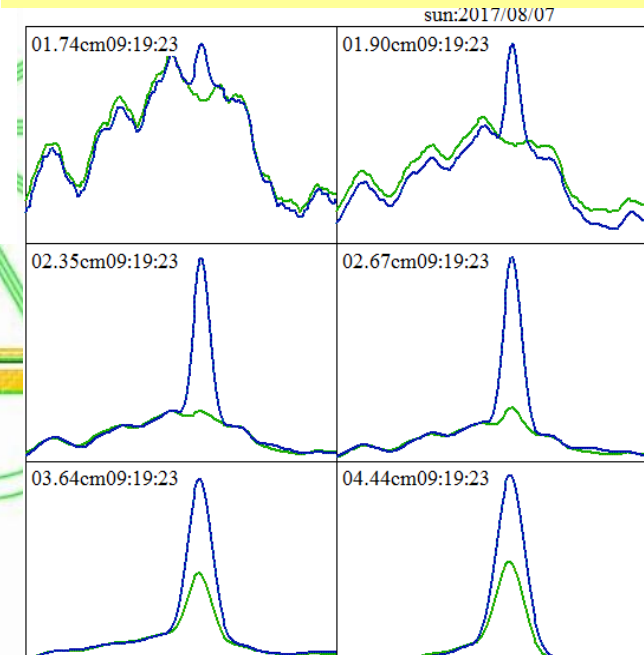


Figure 4. Variation of the X-ray flux recorded by RHESSI at different energies.

# Объяснение наблюдаемой депрессии обыкновенной моды излучения надпятенного источника с помощью моделирования.

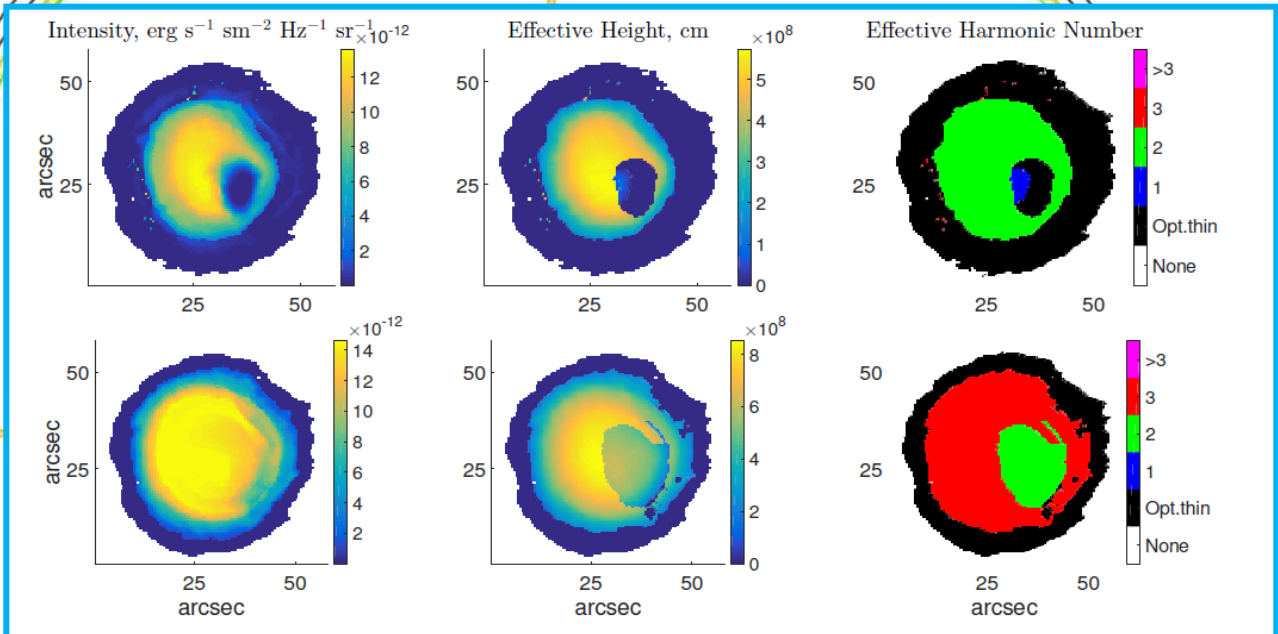


Расчетные сканы интенсивности: слева - необыкновенная мода, справа - обыкновенная мода

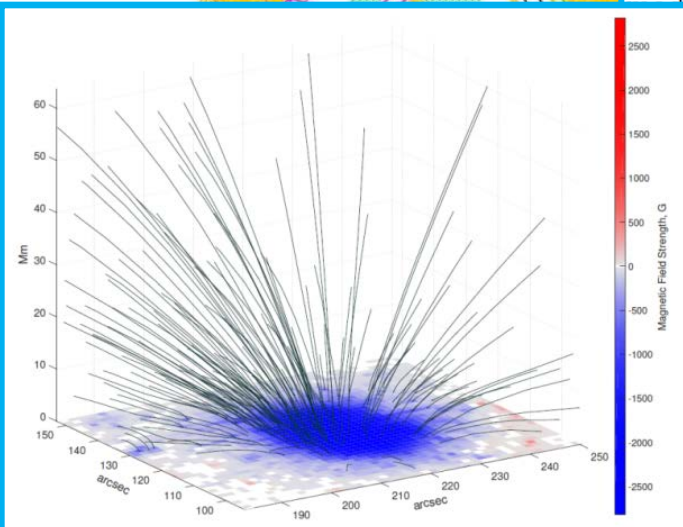


Пример наблюдений надпятенного источника с депрессией излучения в обыкновенной моде. Слева и посередине: наложение сканов РАТАН-600 на 17.25 и 15.75 ГГц на двумерное изображение активной области с пятном в линии 1700 А (SDO). Обыкн. мода показана сплошной линией. Справа: сканы РАТАН-600: понижение излучения обыкновенной моды (зеленым) относительно окружающего фона на 1.74 см и рост на более длинных

# Моделирование параметров солнечной атмосферы с использованием измерений РАТАН-600



**Figure 4.** Radio maps, effective heights, and effective harmonic numbers for the atmosphere obtained after the end of the iteration algorithm for AR NOAA 11312 at 7.1 GHz. The top row corresponds to the ordinary mode (left polarized), lower row to the extraordinary mode (right polarized).



**Figure 2.** Reconstructed magnetic field of the AR NOAA 11312.

**Оценка параметров солнечной атмосферы над солнечными пятнами, основанная на наблюдении поляризованного радиоизлучения на РАТАН-600 и на данных магнитографии SDO.**

**Kaltman et al., 2018 SoPh**

# Multi-wavelength observations of the BL Lac object Fermi J1544-0649: one year after its awakening

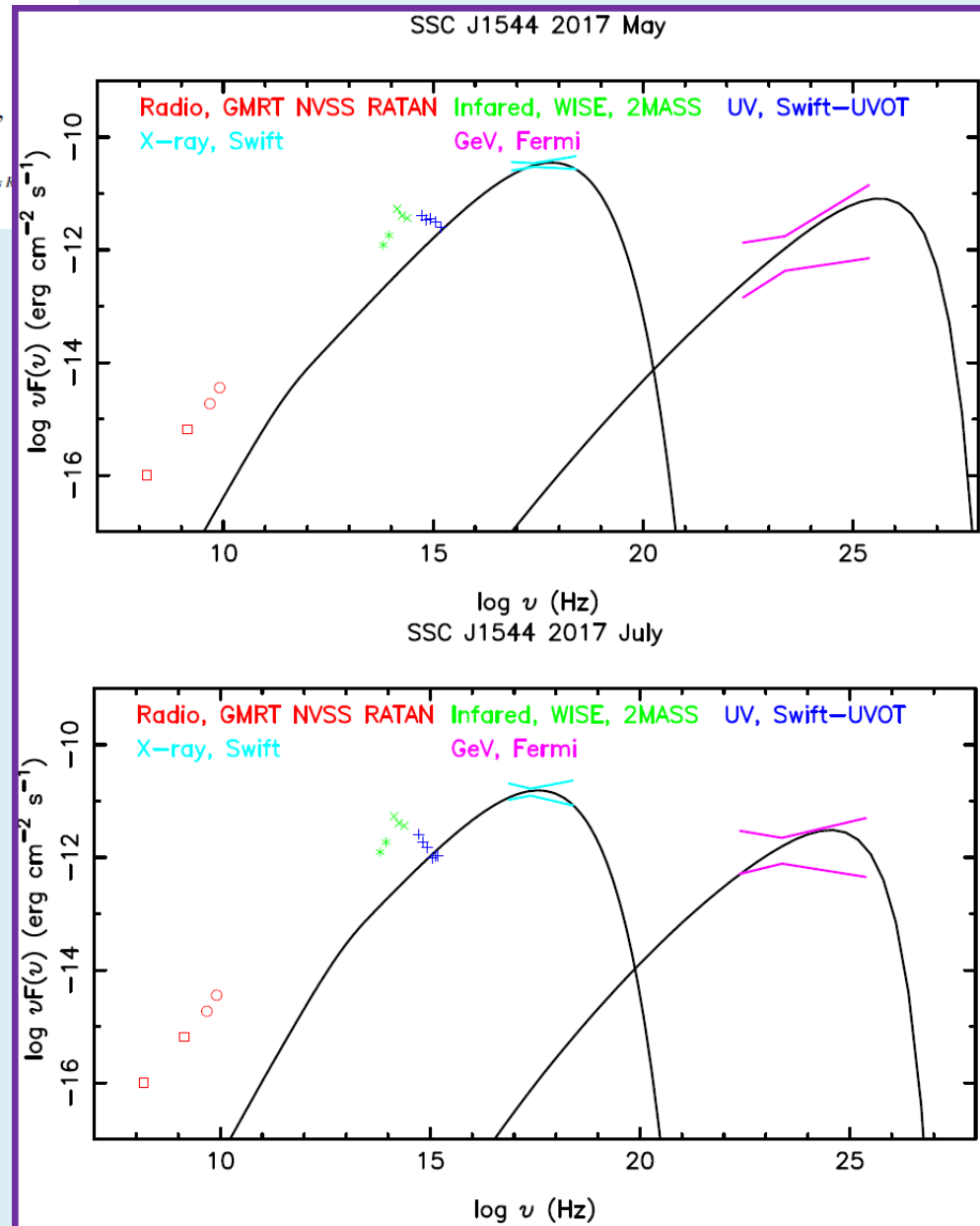
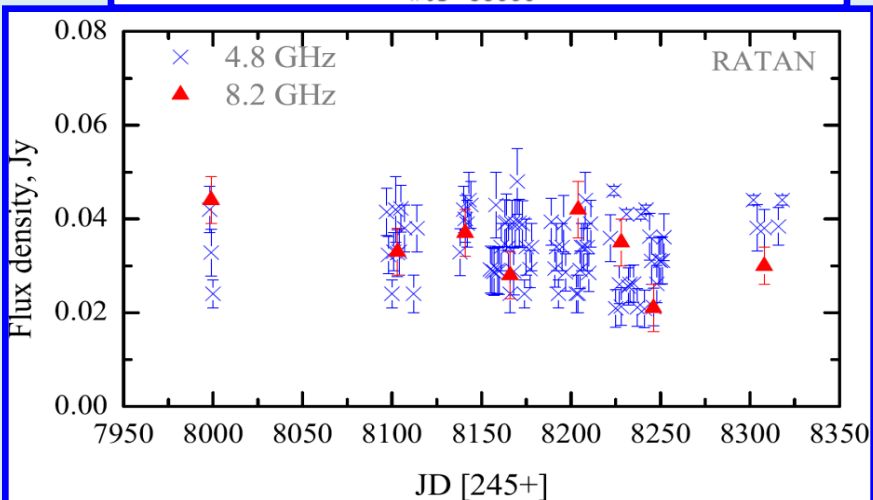
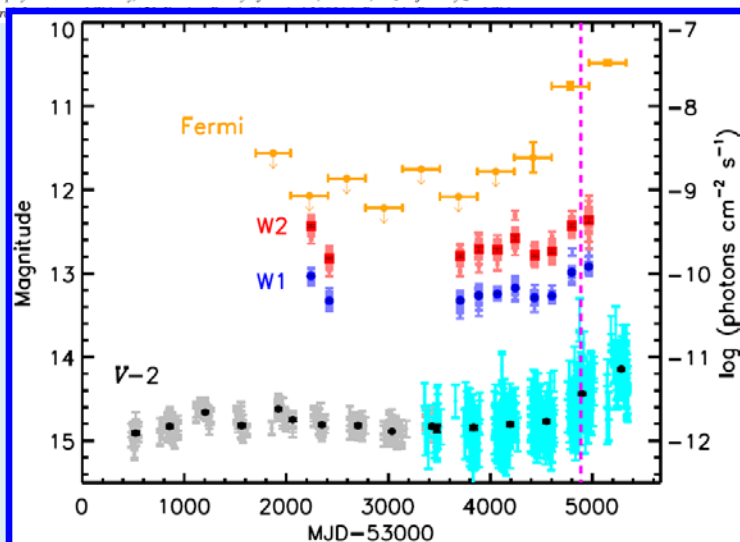
P. H. T. Tam<sup>1\*</sup>, P. S. Pal<sup>1</sup>, Y. D. Cui<sup>1</sup>, N. Jiang<sup>2</sup>, Yu. Sotnikova<sup>3</sup>, C. W. Yang<sup>2,4</sup>, L. Z. Wang<sup>5</sup>, B. T. Tang<sup>1</sup>, Y. B. Li<sup>6,7,8</sup>, J. Mao<sup>6,7,9</sup>, A. K. H. Kong<sup>10</sup>, Z. H. Zhong<sup>2</sup>, J. Ding<sup>11</sup>, T. Mufakharov<sup>12,13</sup>, J. F. Fan<sup>14</sup>, L. M. Dou<sup>14</sup>, R. F. Shen<sup>1</sup>, and Y. L. Ai<sup>1</sup>

<sup>1</sup> School of Physics and Astronomy, Sun Yat-sen University, Zhuhai 519082, People's Republic of China

<sup>2</sup> CAS Key Laboratory for Researches in Galaxies and Cosmology, University of Sciences and Technology of China, Hefei, Anhui 230026, People's Republic of China

<sup>3</sup> Special Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences, 369167, Nizhny Arkhiz, Russian Federation

<sup>4</sup> Polar Research Institute, Wulumuqi, Xinjiang, P. R. China



# Наземная поддержка измерений КРТ (РадиоАстрон): нестационарное радиоизлучение ядер активных галактик (2017-2018)

8 публикаций в рецензируемых изданиях, 2013-2018:

MNRAS, 474, 3523 (2018);

Astronomy & Astrophys., 603, A31, 30pp. (2017);

Astrophys. J. Letters, 820, L9 (2016);

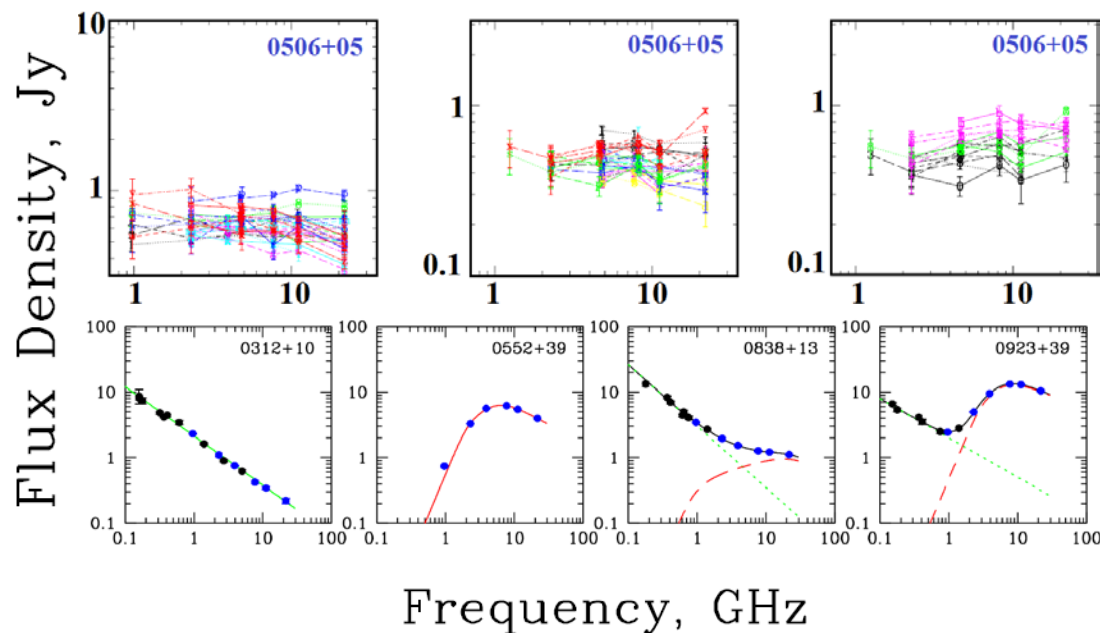
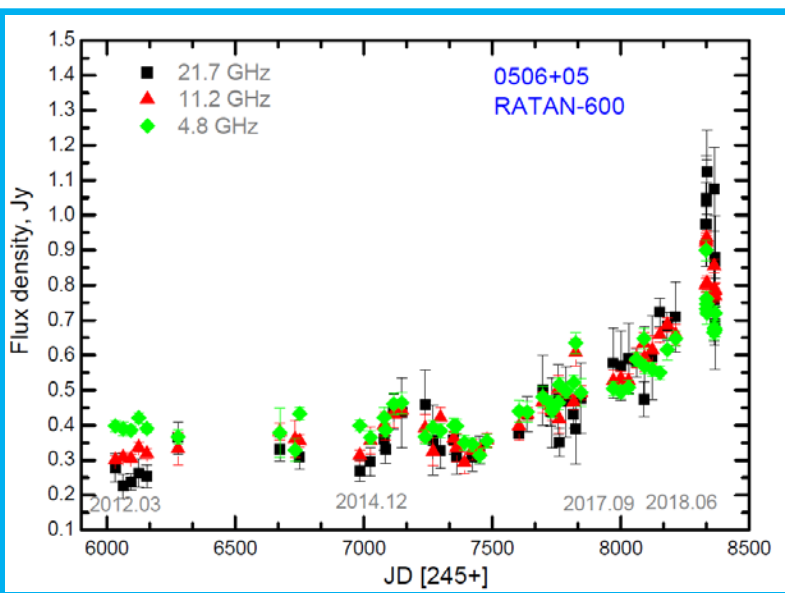
Astronomy & Astrophysics, 573, A50 (2015);

Astronomy & Astrophysics, 565, A26 (2014);

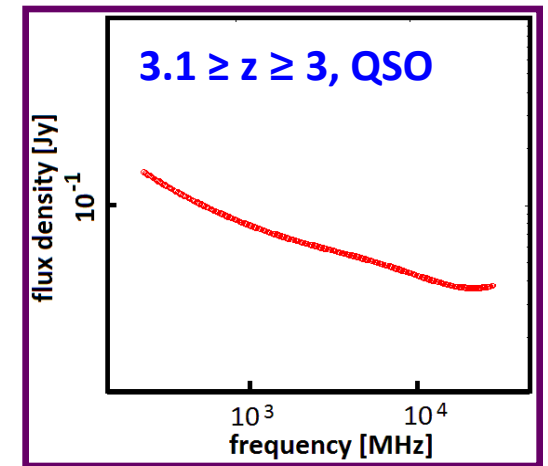
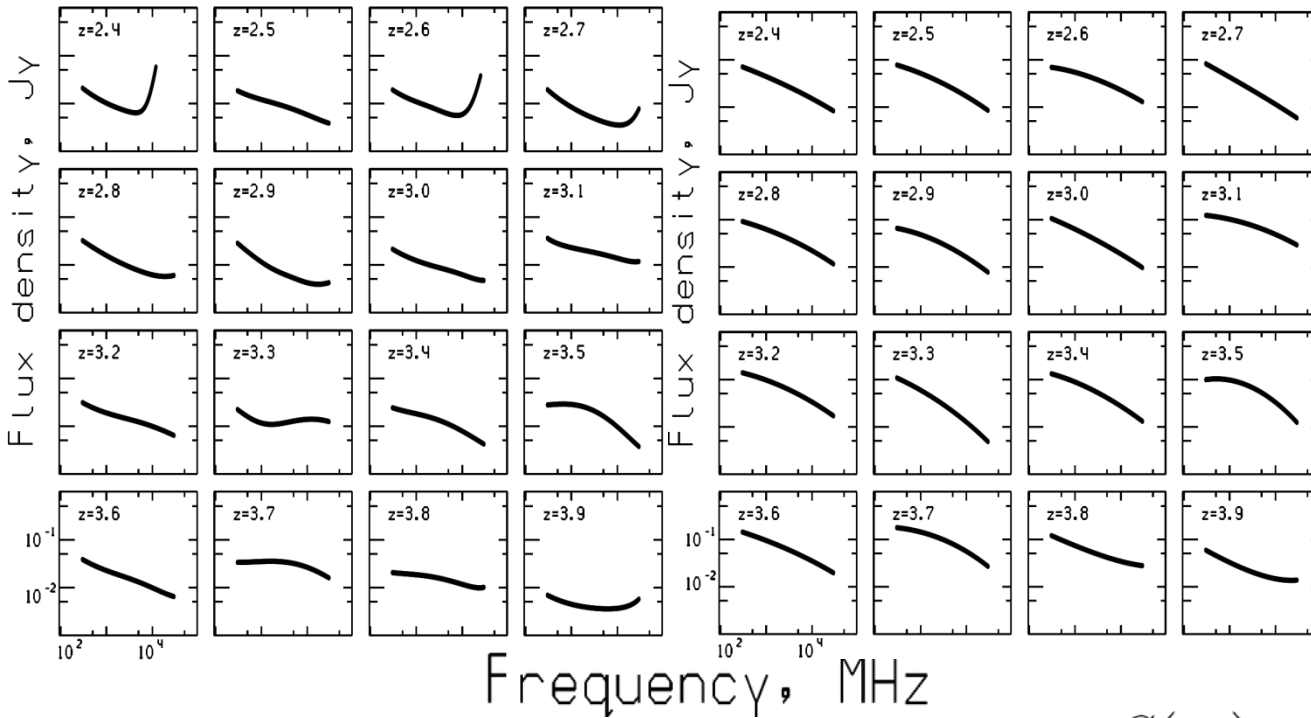
Космические исследования, 52, 430 (2014);

Astronomy & Astrophysics, 556, A67 (2013)

Астрономический журнал, 90, 179 (2013).



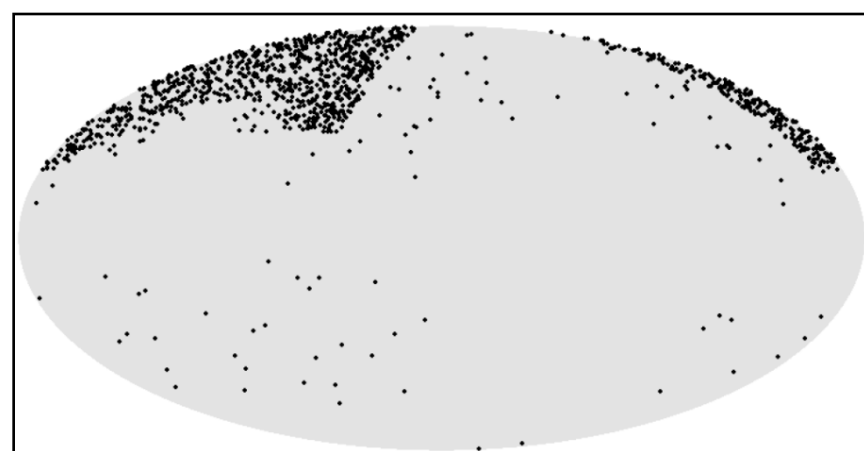
# Радиосвойства далеких квазаров. Космологическая эволюция средних непрерывных спектров радиоисточников на $z > 2$ .



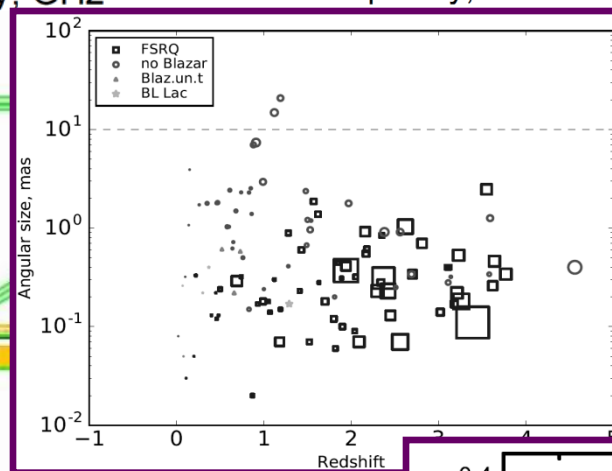
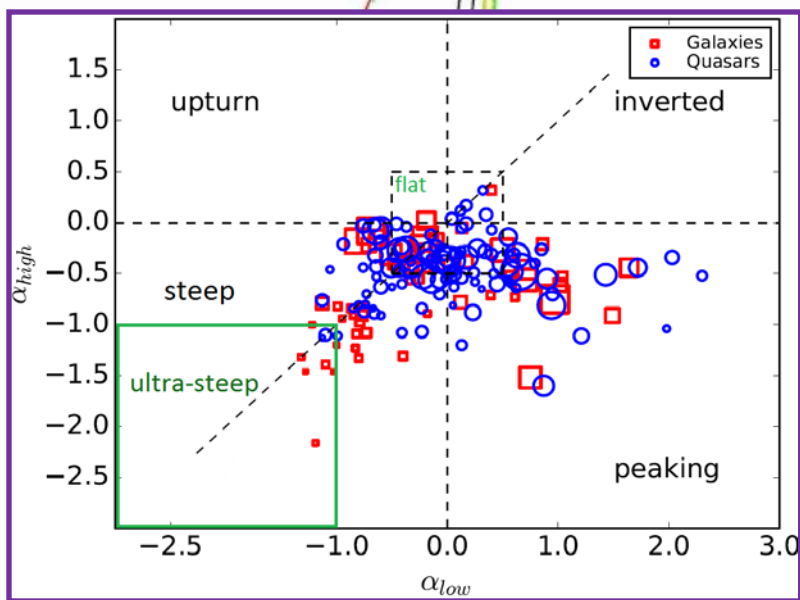
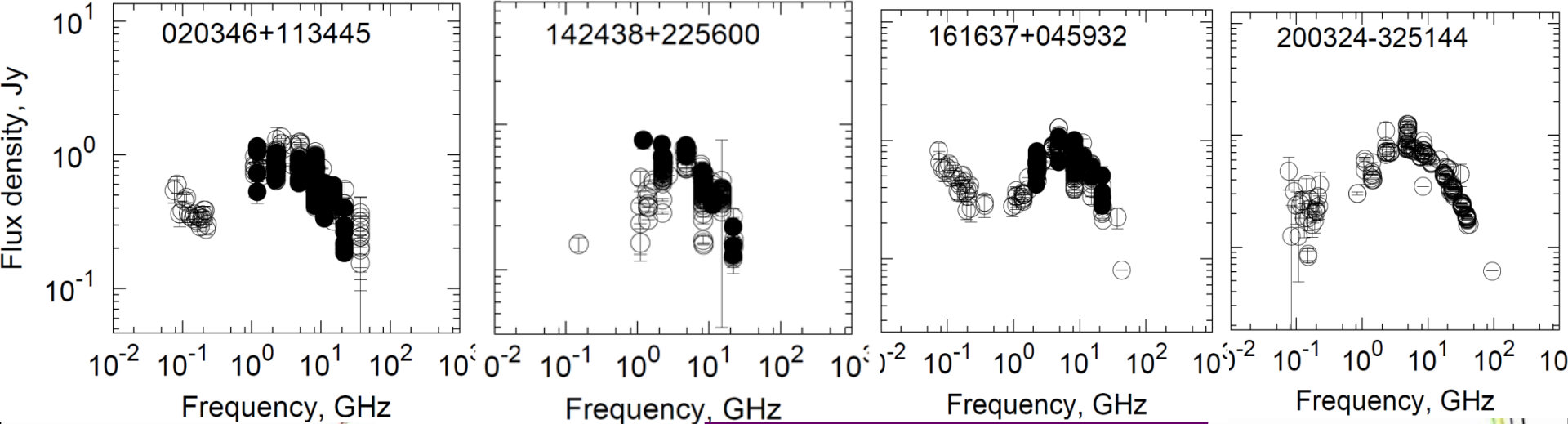
$$S(\nu_j) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N f_k(\nu_j) / f_k(1400)$$

$$\log S(\nu_j) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \log f_k(\nu_j)$$

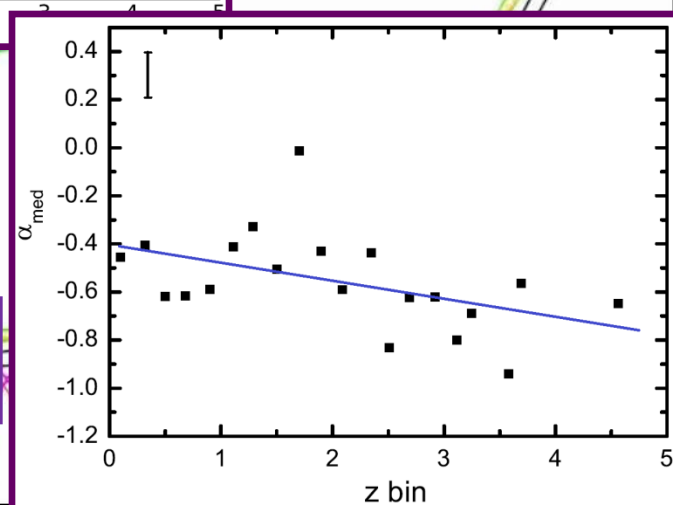
Верходанов и др., принято 2018







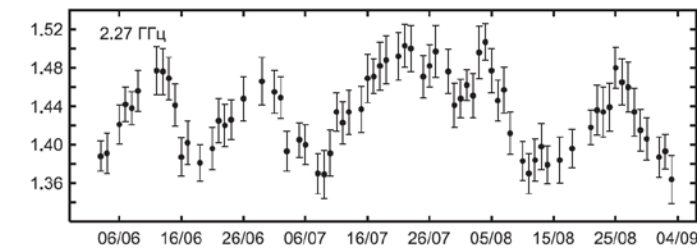
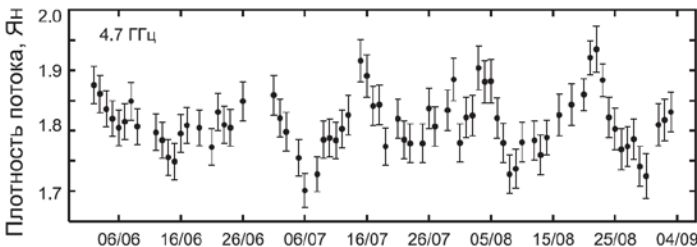
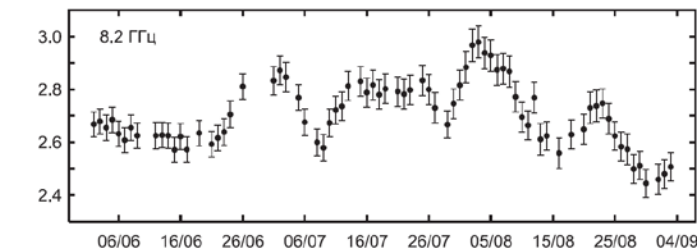
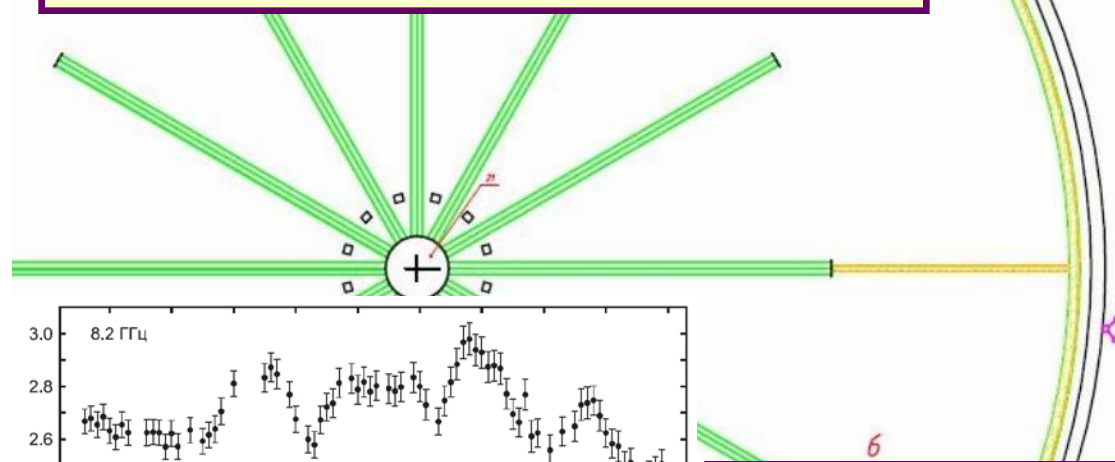
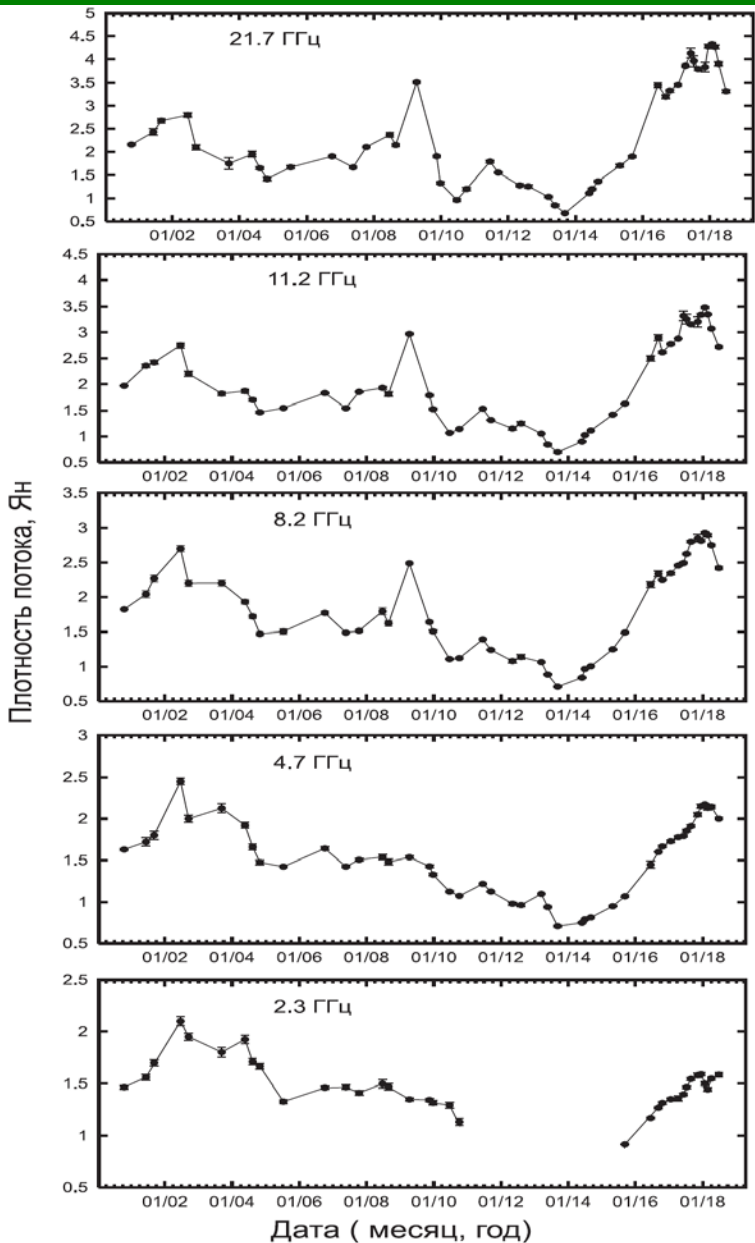
[2018AstBu...73..??V](#)  
[2017AN...338..70M](#)  
[2013ARep...68..262M](#)  
[2014A&A...572A..59M](#)  
[2010A&A...544A..25M](#)  
[2011ARep...55...187M](#)



**Порядка сотни ярких компактных источников со стационарным радиоизлучением (Sotnikova 2018, in prep.)**

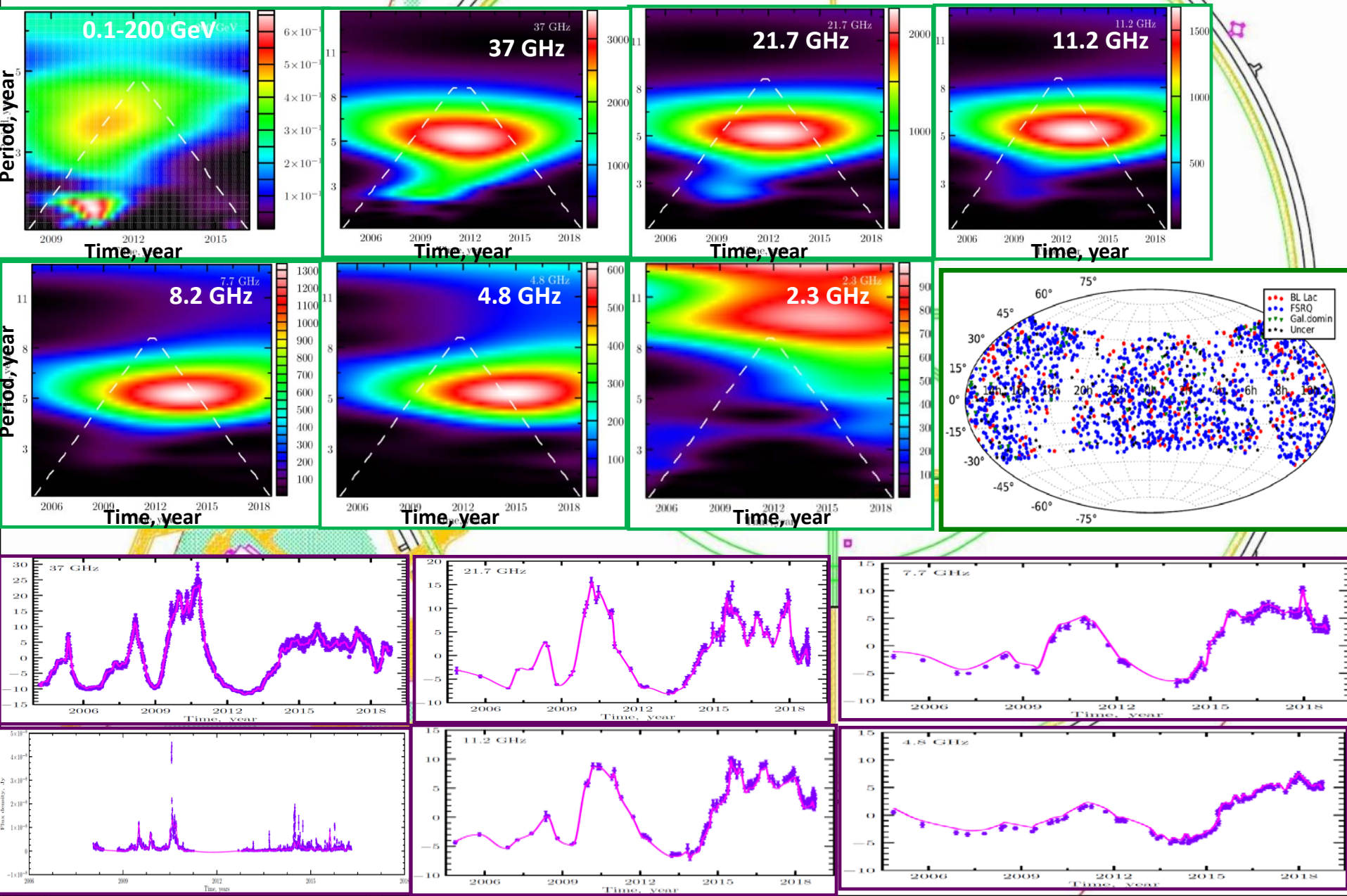
# Исследование переменности блазаров на различных временных масштабах (ГАИШ МГУ)

Блазар 1504+1029 на масштабе времени 15 лет.

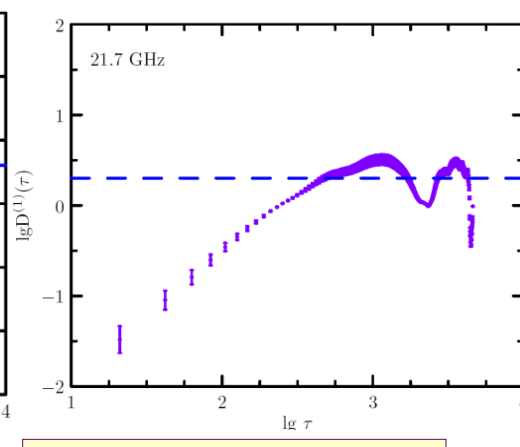
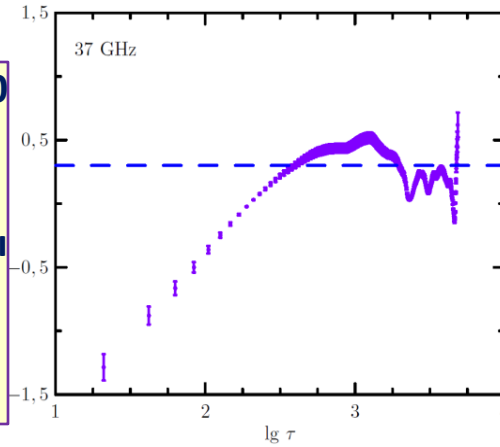
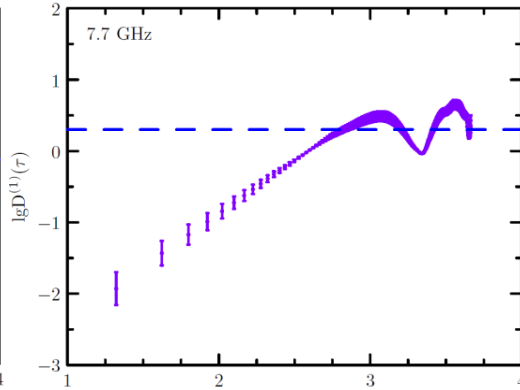
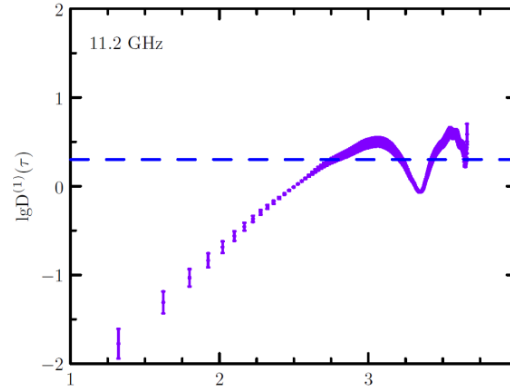
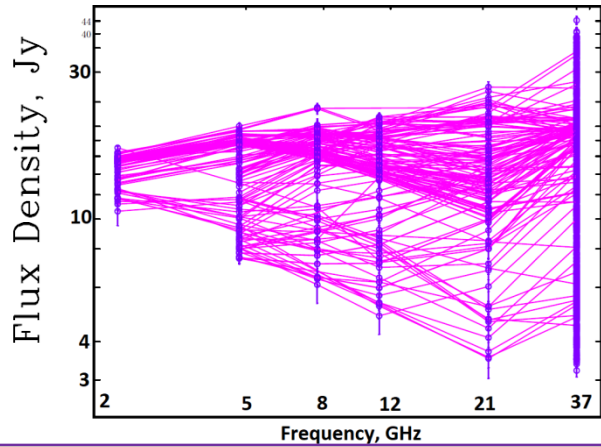


- [2010ARep...54..908G](#)
- [2010ARep...54..983G](#)
- [2011ARep...55...97G](#)
- [2011ARep...55.1096G](#)
- [2012ARep...56..345G](#)
- [2013ARep...57..338G](#)
- [2013ARep...57..344G](#)
- [2013AstBu..68..403G](#)
- [2014ARep...58..716G](#)
- [2015AstBu..70..183G](#)
- [2016AstL...42..506G](#)
- [2017AstBu..72..224K](#)
- [2018ARep...62..183G](#)

# АЯГ: многочастотный мониторинг, анализ временных рядов на длительных масштабах.



# АЯГ: многочастотный мониторинг, анализ временных рядов на длительных масштабах (~800 объектов).



**Долговременные измерения для ~800 блазаров;**  
**Анализ временных рядов:**  
 - количественная оценка временной структуры вариаций;  
 - временные интервалы, задержки;  
 - эволюция гармонических компонент.

RATAN-600 multi-frequency data for the BL Lac objects

BLcat Edition 1.2, November 2016

M.G. Mingaliev, Yu.V. Sotnikova, R.Yu. Udovitskiy, T.V. Mufakharov, E.Nieppola, and A.K. Erkenov

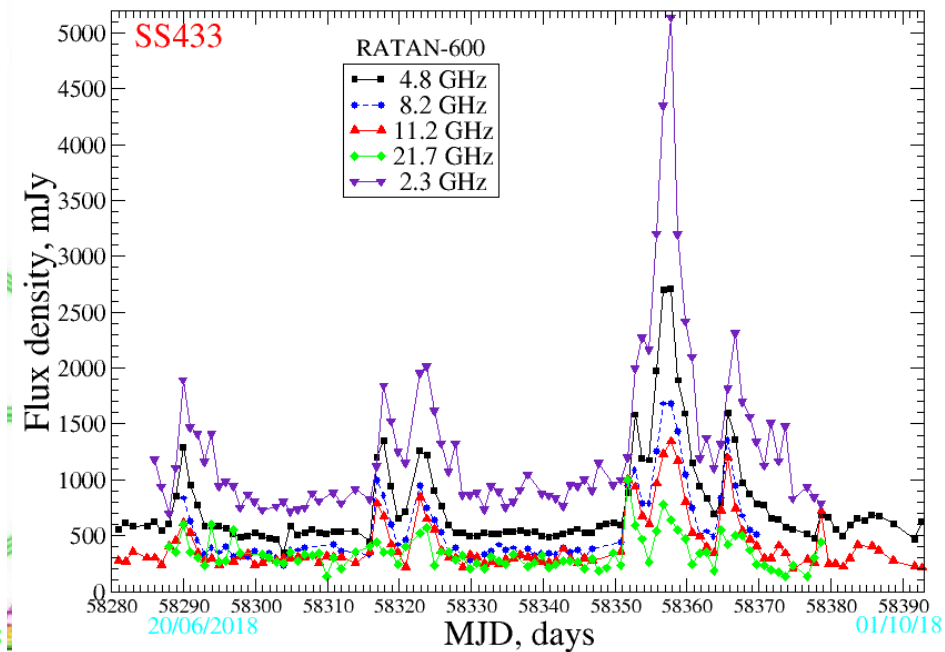
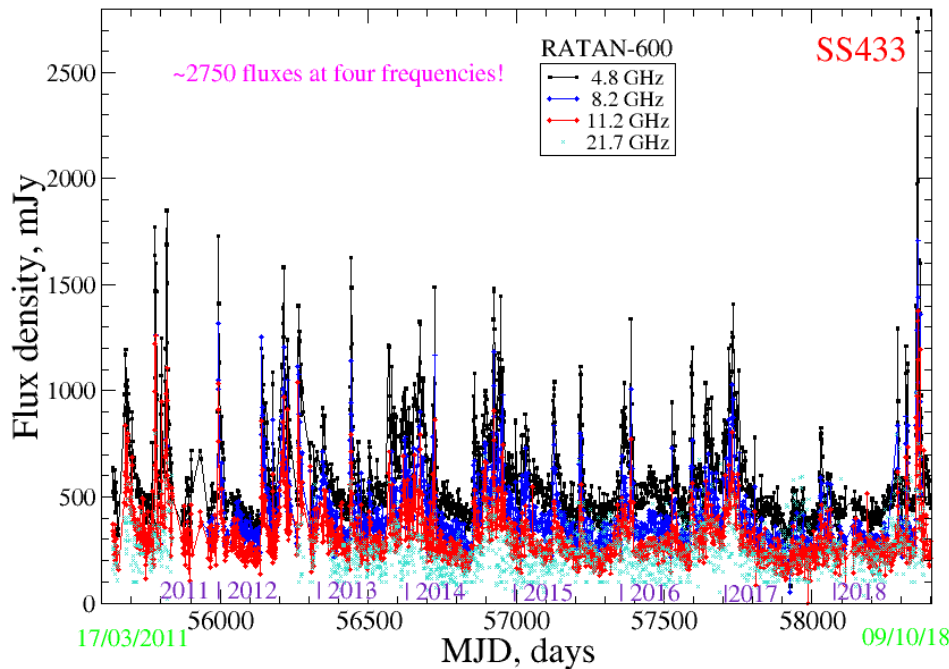
ADS abstract

check all	RATAN data	Set start	Source name	Ra	Dec	Redshift start	Rmag start	Log $v^{\text{peak}}$ [Hz] stat	Flux density at 4.8 GHz [Jy] stat	SED class start	Blazar type start	Selected type start	Reference
<input type="checkbox"/>	<a href="#">Data explorer</a>	22	PKS0003-066	00 06 13	-06 23 36	0.347	17.9	13.16	2.27	LSP	BL-Lac		
<input type="checkbox"/>	<a href="#">Data explorer</a>	2	BZB J0007+4712	00 07 59	47 12 07	0.28	18.2	13.66	0.06	LSP	BL-Lac		
<input type="checkbox"/>	<a href="#">Data explorer</a>	4	87GB00113+1854	00 13 56	19 10 41	0.477	17.7	0	0.09	*	BL-Lac		
<input type="checkbox"/>	<a href="#">Data explorer</a>	12	MS 0011.7+0837	00 14 19	08 54 04	0.162	17.2	12.44	0.11	LSP	BL-Lac		
<input type="checkbox"/>	<a href="#">Data explorer</a>	0	BZB J0018+2947	00 18 27	29 47 30	0.1	18.4	14.91	0	ISP	BL-Lac	XBL	71
<input type="checkbox"/>	<a href="#">Data explorer</a>	11	PKS 0017+200	00 19 37	20 21 45	0	20.3	12.32	1.01	LSP	BLac	RBL	11
<input type="checkbox"/>	<a href="#">Data explorer</a>	24	PKS 0019+058	00 22 32	06 08 05	0	18.5	13.112	0.38	LSP	BLac	RBL	7

- [2017AN....338..700M](#)
- [2016A&A...596A.106P](#)
- [2015MNRAS.450.2658M](#)
- [2015AstBu..70..273M](#)
- [2015AstBu..70..264M](#)
- [2014A&A...572A..59M](#)
- [2014AstBu..69..266M](#)
- [2012A&A...541A.160G](#)
- [2011A&A...536A..15P](#)

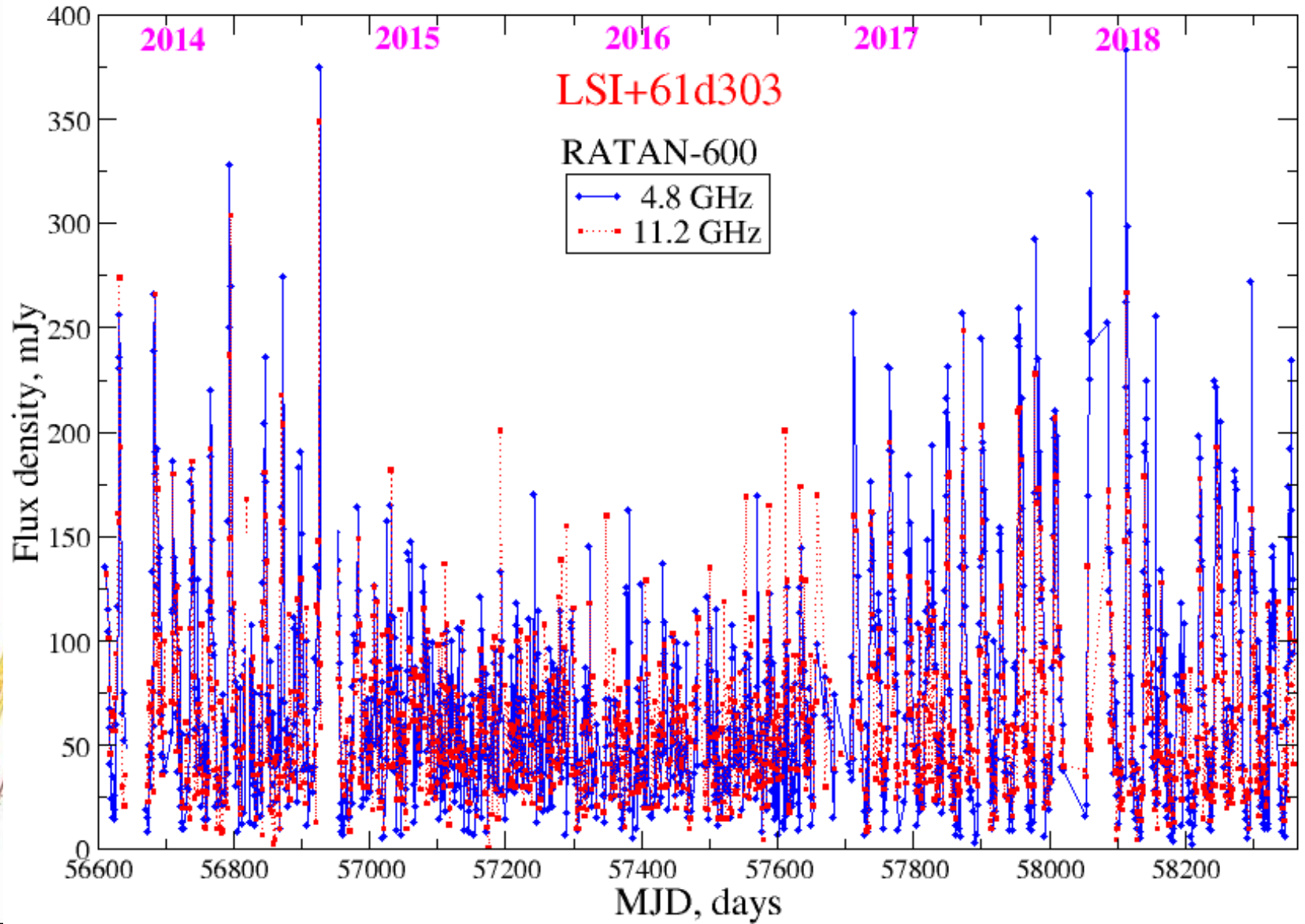
[www.sao.ru/blcat](http://www.sao.ru/blcat),  
590, 2005-2018.

# Кривые блеска SS433 летом 2018 г.

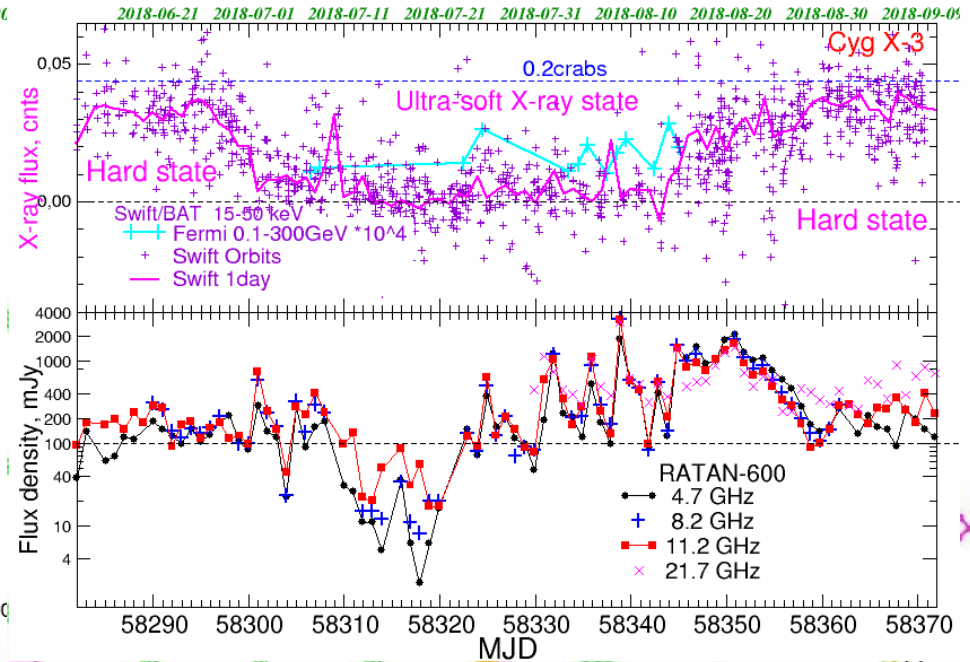
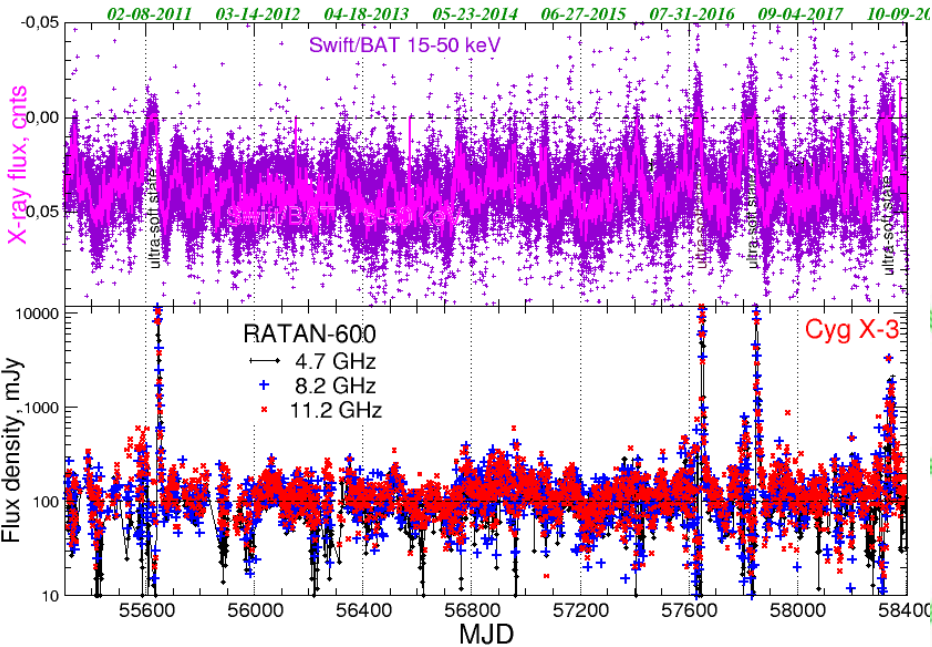


Август 2018 года - **самая яркая вспышка SS433** за всю историю наблюдений. Проведены совместные измерения в и рентгеновском (Swift) диапазонах. Для кривой блеска с  $S$  (4.7 ГГц) < 600 мЯн есть гармоника 6.06 дня.

# LSI+61d303: Полный сверхорбитальный период (1667дней): 67 периодических (26.5d) вспышек



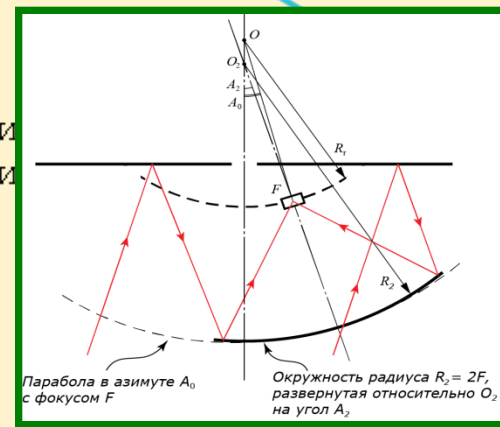
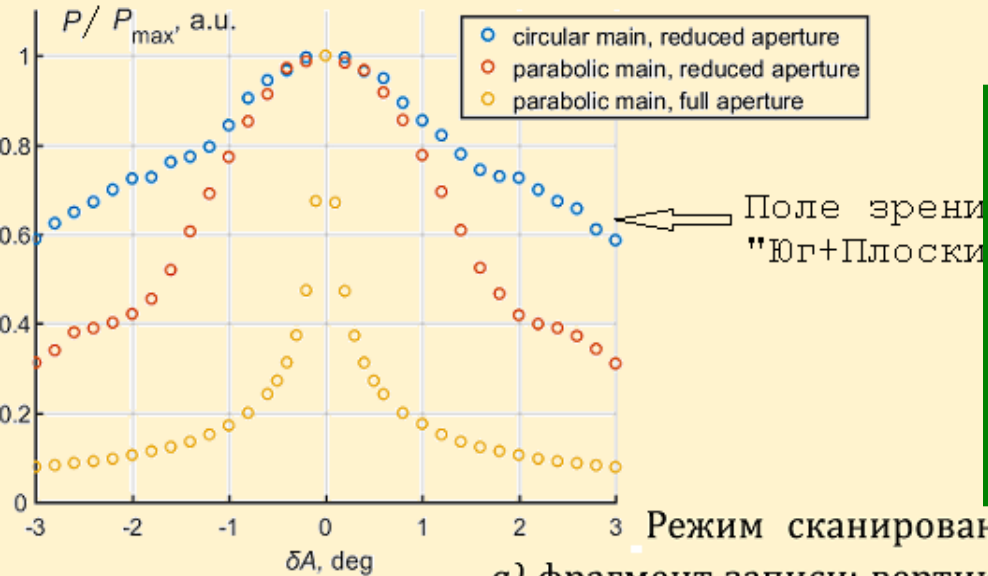
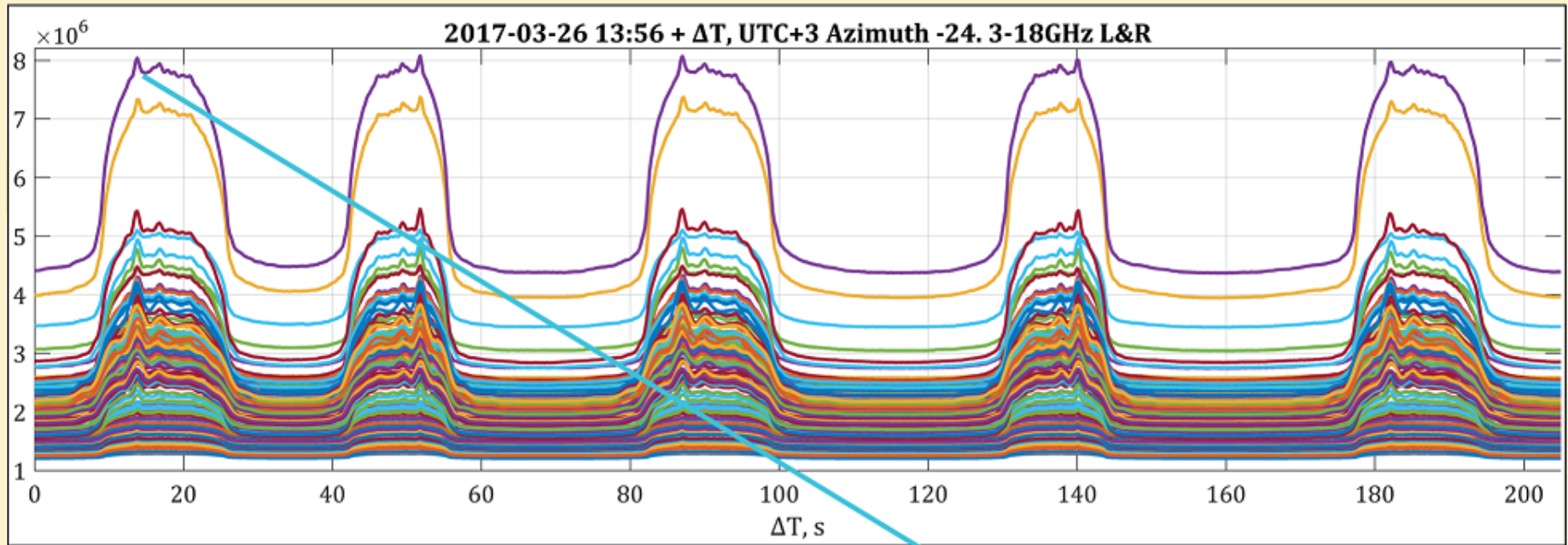
# Радиовспышки в Cyg X-3 в 2018 г.



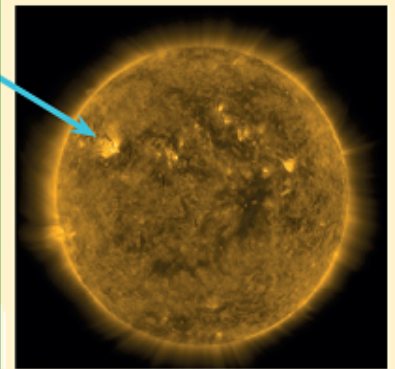
- 1) антикорреляция рентген-радио вне вспышек ( $\rho \sim -0.9$ );
- 2) корреляция жесткий рентген-радио в период вспышки.

[2018MNRAS.475.5360B](#)  
[2018A&A...612A..27K](#)  
[2017MNRAS.472.3474A](#)  
[2017Galax...5...86T](#)  
[2017Galax...5...84T](#)  
[2017ApJ...839...84P](#)  
[2018MNRAS.475.5360B](#)  
[2017arXiv171207933K](#)  
[2017ASPC..510..492T](#)  
[2018ATel11439....1T](#)  
[2017ATel10459....1T](#)  
[2017ATel10252....1M](#)  
[2017ATel10126....1T](#)

а)

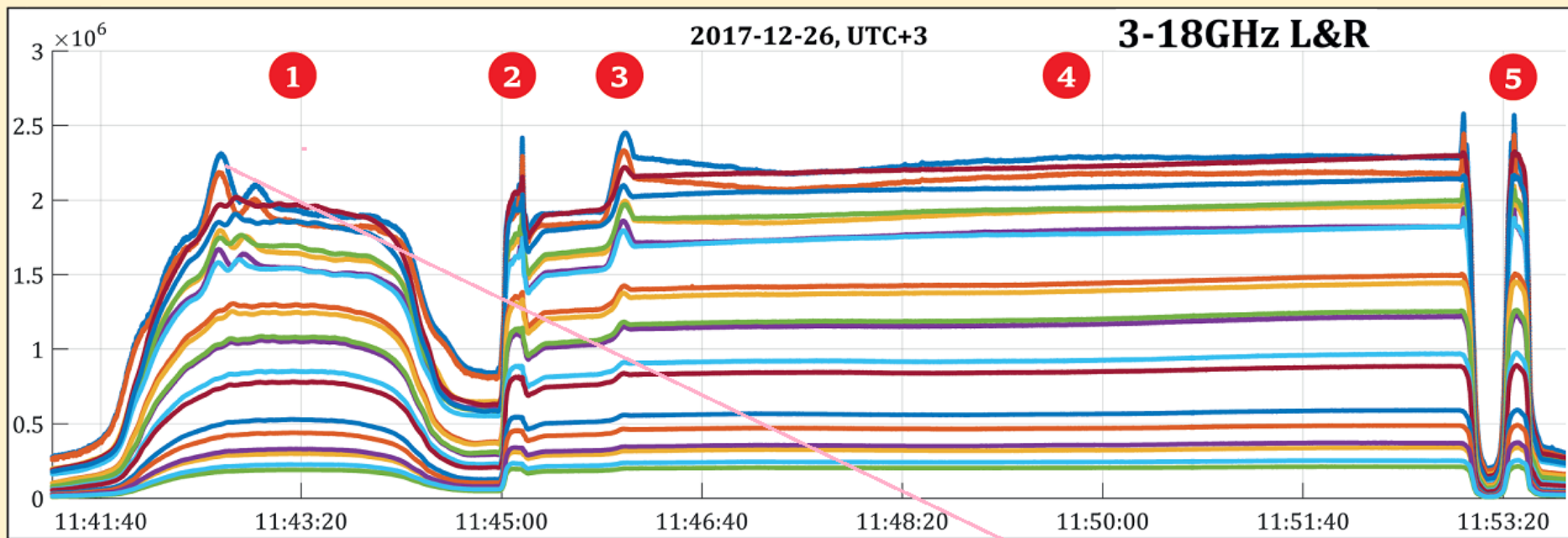


б)



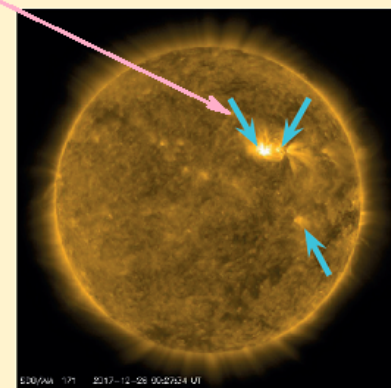
Режим сканирования Солнца перемещением кабины облучателя:  
 а) фрагмент записи; вертикальная ось — значение сигнала в произвольных единицах; б) изображение Солнца SDO AIA, относящееся ко времени наблюдения ( $\lambda = 171 \text{ \AA}$ )

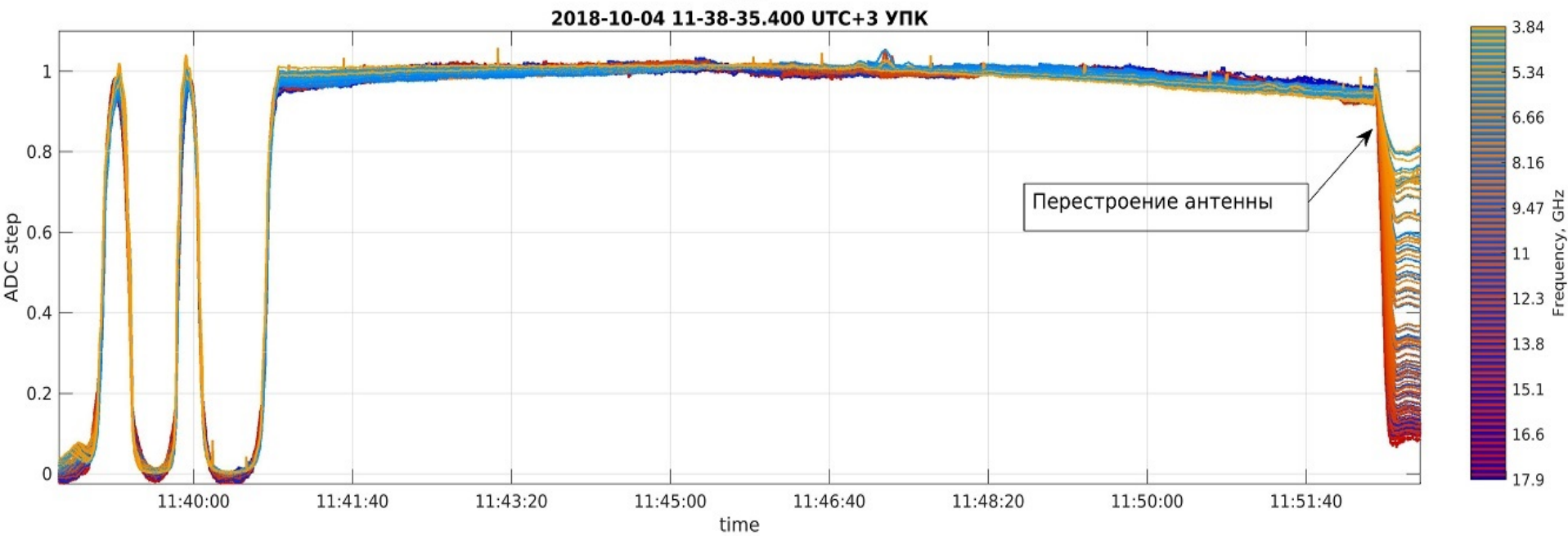
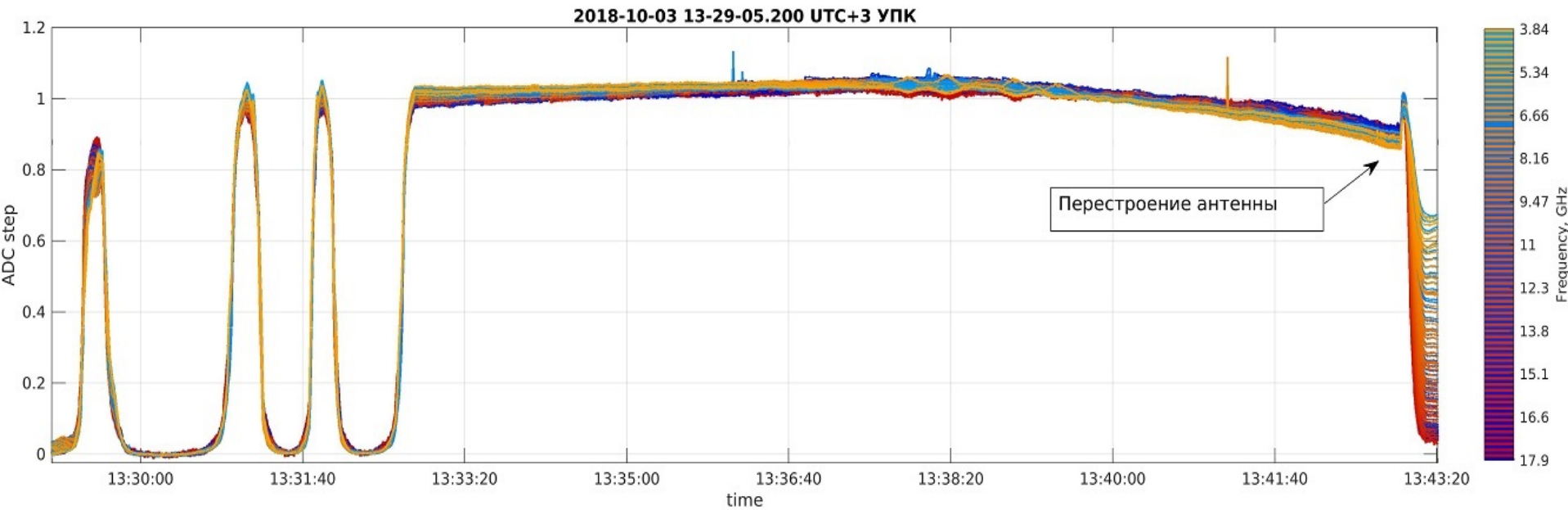




тестирование режима сопровождения Солнца перемещением кабины облучателя: 1 — прохождение Солнца через ДН при неподвижной кабине облучателя; 2 — обгон Солнца кабиной; 3 — наведение на активную область; 4 — сопровождение; 5 — движение кабины в обратном направлении. б) наблюдение Солнца в режиме сопровождения: 5 — быстрое сканирование диска Солнца; 2, 3 — отведение и наведение ДН антенны на активную область; 4 — сопровождение активной области в течение 8 минут; вертикальная ось — значение сигнала в произвольных единицах; в) изображение Солнца SDO AIA, относящееся ко времени наблюдения ( $\lambda = 171 \text{ \AA}$ )

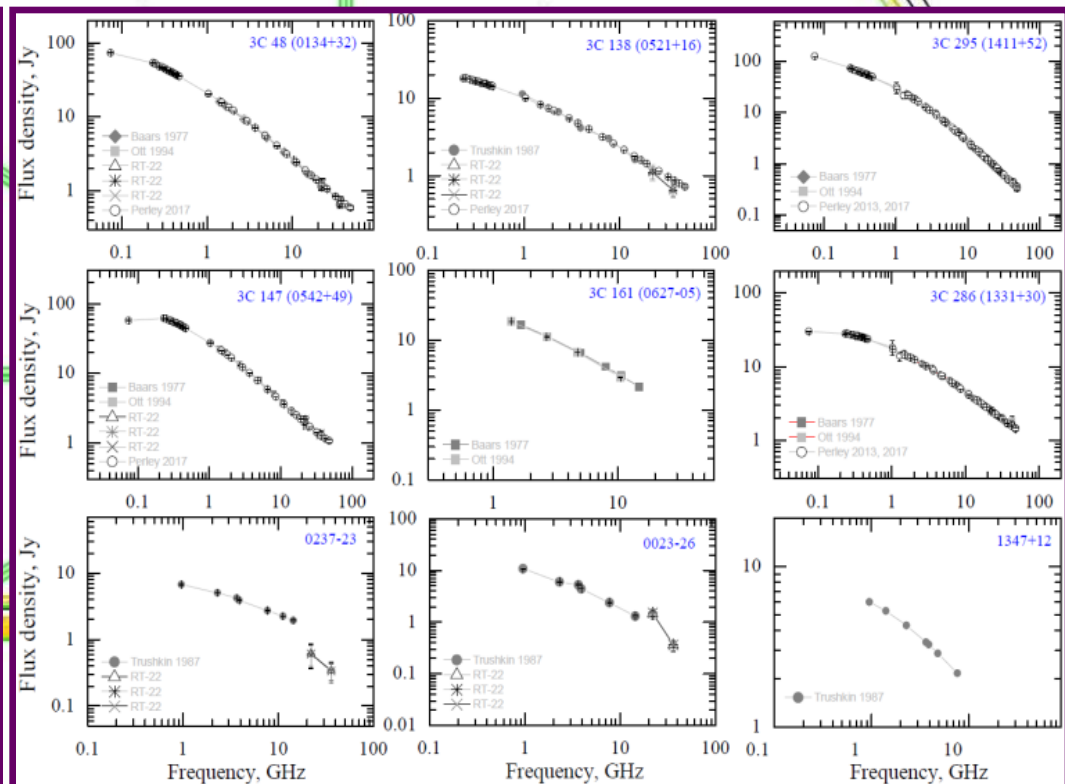
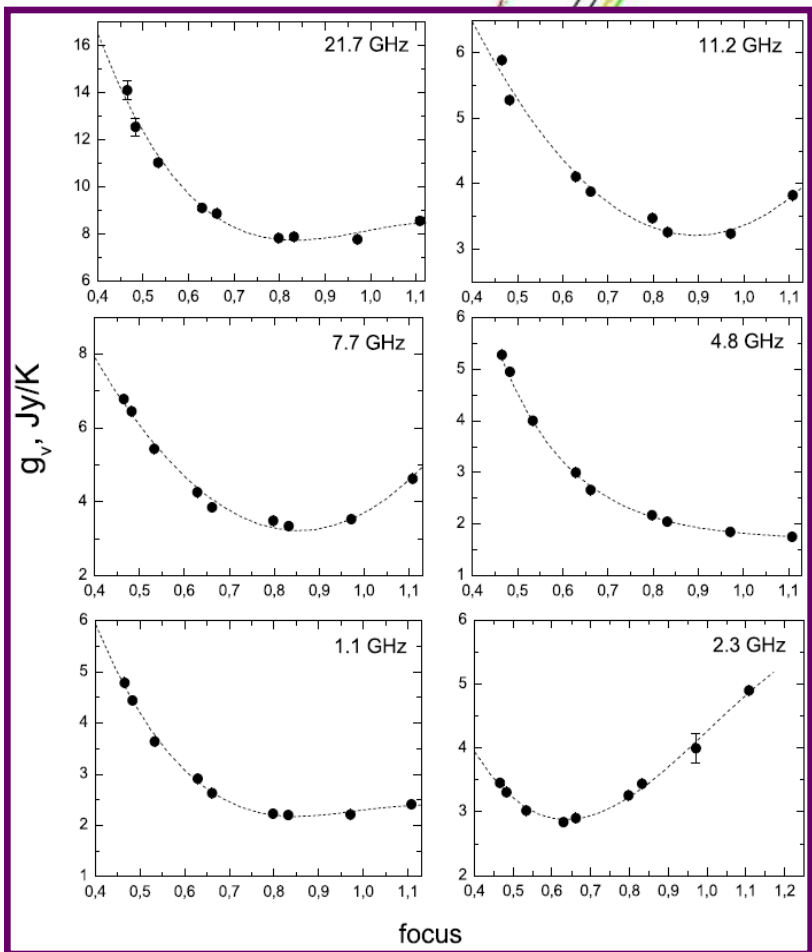
в)





Примеры быстрого сканирования и сопровождения Солнца в течение 12-13 минут

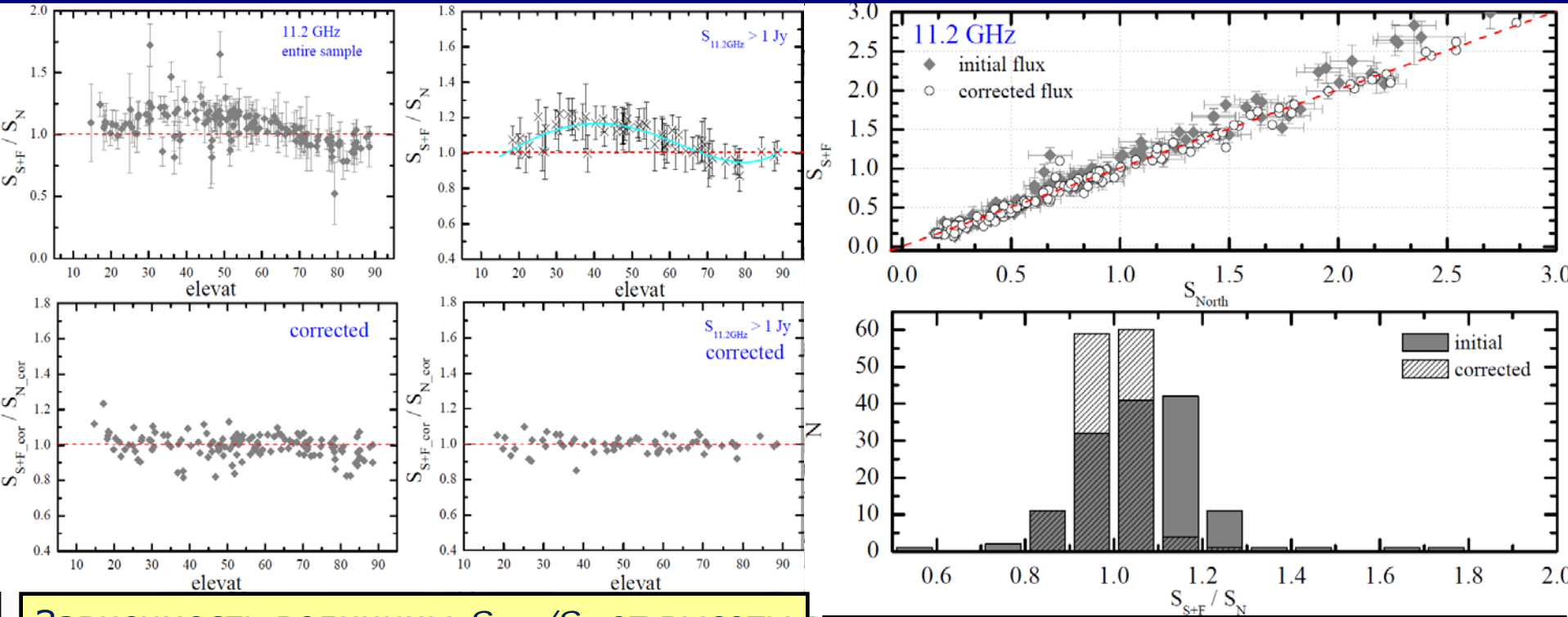
# Проблема калибровки измерений для АПП. Метод «самокалибровки» секторов Р-600. Измерения РТ-22 (22, 37 ГГц)



Ковалев, Сотникова, in prep. 2018

Основная проблема -- проблема "хороших калибраторов". Примерно для половины используемых калибраторов в литературе имеется информация о поведении потоков, как правило, на частотах ниже 22 ГГц. Для остальных информация крайне скудная. Необходим систематический мониторинг, особенно на высоких частотах.

# РАТАН-600: калибровка, результаты на частоте 11.2 ГГц



Зависимость величины  $S_{S+F}/S_N$  от высоты установки антенны  $h$  на частоте 11.2 ГГц для всей выборки (сверху слева) и для радиоисточников с плотностью потока  $> 1$  Ян (сверху справа). Голубым показан используемый для корректировки потоков полином.

Отношение полученных плотностей потоков на Секторе "S+F" и "N" до (серые ромбы) и после (незакрашенные кружки) корректировки на частоте 11.2 ГГц (представлены источники с потоками до 3 Ян). Снизу: распределение коэффициентов  $S_{S+F}/S_N$  до и после коррекции.

# СЭК РАТАН-600: ремонт механики Плоского отражателя (90 элементов)



1. **Замена:** подшипников, бронзовой гайки, в планетарных и конических редукторах - шестерни, сальников, троса, блочков.
2. **Восстановление** ячейки посадки подшипников, деформированных вилок кардана.
3. Полная **переборка** механизмов.
4. **Калибровка** угломестных винтов (Zharov, 2017AstBu..72..480Z), **юстировка** элементов, определение планового положения Плоского отражателя.

# Измерения/исправления отражающей поверхности отдельных элементов ГЗ

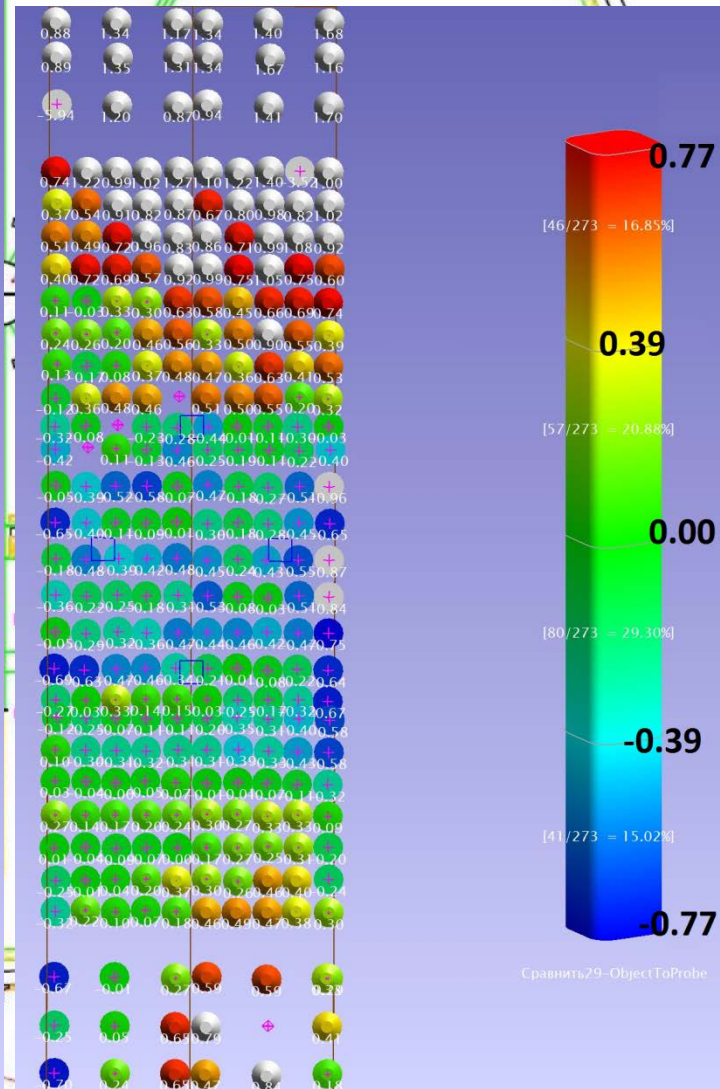
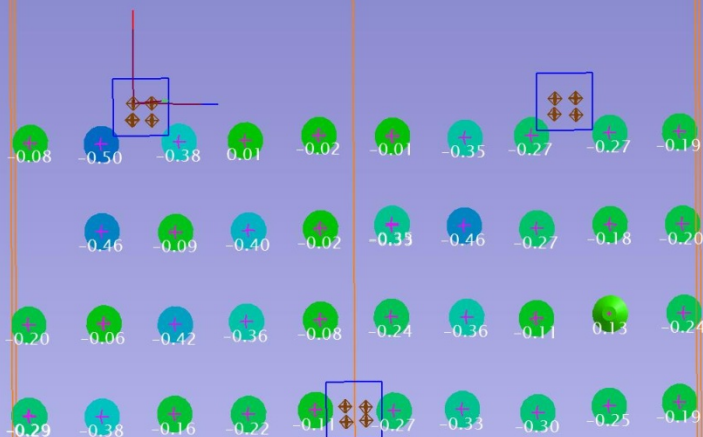
№156, СКО=0.71 мм;  
после корректировки  
СКО=0.22-0.27 мм

Сводка всех векторов: Группа векторов  
A::Сравнить9-ObjectToProbe

Статистич.	dY	MagY
Мин	-0.13	-0.50
Макс	0.50	0.13
Средн.	0.23	-0.23
StdDev from Avg	0.15	0.15
StdDev from Zero	0.28	0.28
СКО	0.27	0.27
Зона допуска		-0.76 0.76
В доп.	41 (100.0%)	
Вне доп	0 (0.0%)	
Кол-во	41	

Сводка всех векторов: Группа векторов  
A::Сравнить10-ObjectToProbe

Статистич.	dY	MagY
Мин	-0.13	-0.38
Макс	0.38	0.13
Средн.	0.18	-0.18
StdDev from Avg	0.12	0.12
StdDev from Zero	0.22	0.22
СКО	0.22	0.22
Зона допуска		-0.76 0.76
В доп.	31 (100.0%)	
Вне доп	0 (0.0%)	
Кол-во	31	



# Основные результаты

1. Наблюдения с новым радиометром для поиска FRB-событий на частоте 5 ГГц с высоким временным разрешением.
2. Ремонт механической части Плоского отражателя.
3. Освоение альтернативных режимов наблюдений.
4. Ежедневные измерения интегральных радиопотоков рентгеновских двойных систем со струйными выбросами.
5. Моделирование высотной структуры солнечной атмосферы. Предсказание активных событий в атмосфере Солнца.
6. Массовый мониторинг АЯГ на частотах 1-22 ГГц. Космологическая эволюция континуального излучения популяции ярких радиоисточников.